ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME IV AVRIL 1945 NUMÉRO 14

Le langage de la science

Un des caractères distinctifs de la connaissance scientifique est la précision avec laquelle elle peut être transmise. A cet égard elle atteint presque au niveau des mathématiques et dépasse de loin celui de toute autre branche du savoir. Ceci est dû en partie au sujet lui-même, mais aussi au soin avec lequel les hommes de science ont graduellement appris à formuler leurs définitions et leurs conceptions. Ce souci d'exactitude n'a pas toujours existé; il a grandi parallèlement à la science, favorisant son progrès comme elle favorisait le sien.

L'une des difficultés de la terminologie scientifique primitive était son vocabulaire polyglotte. La plupart des peuples européens, et quelques peuples asiatiques de l'antiquité et du moyen âge ont apporté leur contribution à la science, tandis qu'en Afrique les Egyptiens ont pleinement justifié ce proverbe grec que rapporte Pline *Ex Africa semper aliquid novi*. Lorsque des données scientifiques étaient empruntées à des sources étrangères, les termes étrangers étaient eux aussi fréquemment adoptés; la répétition continuelle de ce procédé conduisit à un vocabulaire extrêmement hétérogène.

Pour se rendre compte de l'importance de ces emprunts de termes exotiques, il suffit de jeter un coup d'œil sur la terminologie d'une seule branche de la science, la chimie. La dette du chimiste envers le latin et le grec est trop évidente pour qu'un commentaire soit nécessaire; mais il a emprunté soufre et aniline au sanscrit; marcassite et saphir à l'assyrien; cinabre, laudanum, musc et naphte au persan; alcool, alambic, benjoin, réalgar, sucre, tartre, turbith et quantité d'autres mots à l'arabe; et le nom même de sa science vient peut être du pays des Pharaons. Le vocabulaire a de plus été enrichi — à supposer que ce soit le mot juste — par l'adoption de termes occultes ou fantaisistes pour désigner les substances chimiques. La symbolisation par le soleil, la lune et les planètes des sept métaux des anciens était suffisamment intelligible (le nitrate d'argent est appelé encore aujourd'hui le « caustique lunaire »); mais des appellations cryptiques telles que « le dragon rouge » (acide nitrique), « le corbeau noir » (plomb) et « l'aigle blanc » (chlorure d'ammonium) ajoutaient inévitablement à la difficulté de transmettre des renseignements de façon précise, tout particulièrement si le même nom était utilisé pour deux, ou plusieurs, substances différentes.

La même confusion, le même défaut de précision marquaient la terminologie des autres branches de la science, et, particulièrement de la biologie. En botanique la position était rendue encore plus difficile par l'adoption universelle de la « doctrine des signatures », selon laquelle la divinité aurait non seulement donné à chaque plante sa forme particulière, mais encore l'aurait marquée de « signes » permettant à l'homme de lire, en caractères lisibles, l'usage à en faire. Il est clair que des interprétations diverses de ces « signatures » pouvaient conduire à des identifications erronées, comme dans le cas de la lunaire (*Botrychium lunaria*) et de la lunaire ou monnaie du Pape (*Lunaria biennis*).

Avec l'accroissement des connaissances on réalisa la nécessité urgente de définir et de codifier les termes, les noms et les descriptions scientifiques. Boyle fut l'un des pionniers (1627–1691) dans cette œuvre essentielle et sa définition de ce qu'il entendait par la nature d'un élément chimique ne laisse rien à désirer. Treize ans après la mort de Boyle, un autre pionnier anglais, John Harris, en publiant le premier dictionnaire technique qui ait jamais été composé, ouvrait un domaine nouveau et fructueux. Harris et son œuvre sont le sujet d'un article du Docteur McKie qui est publié dans le présent numéro.

Environ cinquante ans plus tard, Linné (1707–1778) rendait considérablement plus précises la nomenclature et la terminologie en botanique, particulièrement par son système de désignation binaire tel qu'il est exposé dans son *Systema Naturæ*. Ce système, selon lequel toute plante est désignée par deux noms latins ou latinisés — le nom du genre et le nom de l'espèce — s'est révélé d'une valeur incalculable pour le progrès de la botanique; et son application à la zoologie n'a pas été moins fructueuse.

Le travail de clarification par Linné du langage de la biologie, fut suivi à bref délai par une révolution fondamentale dans la nomenclature chimique. Un petit comité de chimistes français — Lavoisier, Guyton de Morveau, Berthollet et de Fourcroy — publia en 1787 un rapport dans lequel, après avoir démontré l'absurdité et l'équivoque de noms tels que « beurre d'antimoine », « foie de soufre » et « sucre de plomb », ils posaient pour la première fois les bases essentielles de notre système actuel de nomenclature chimique.

Le principe adopté par le comité français, d'après lequel le nom doit exprimer exactement l'idée, et l'idée doit décrire exactement le fait — est le principe fondamental de la nomenclature de la chimie organique. Les noms des substances organiques ne sont autres que leurs formules développées: de sorte que l'on peut déduire les noms des formules, et les formules des noms — si l'on connaît les règles. L'avantage, ou mieux, la nécessité d'un tel système est manifeste: sans lui, le progrès des connaissances chimiques serait maintenant impossible.

La nomenclature chimique n'est qu'un des aspects du problème général que présente le langage de la science. Comme nous l'avons montré, la précision de la science exige la précision dans l'expression; mais ceci à son tour peut trop aisément aboutir à un formalisme étroit qui rend l'expression obscure, pour tout autre que le spécialiste. Voici par exemple une phrase choisie au hasard dans un ouvrage récent de chimie biologique: « Le quart nucléé produisit des gynomérogones parthénogénétiques viables »; si elle apporte au biochimiste une quantité de renseignements exacts, combien elle a peu de signification pour le physico-chimiste ou le physicien. Et cependant cette information pourrait être exprimée dans un langage moins spécialisé.

Employé avec habileté, la terminologie du spécialiste a, pour l'initié, la clarté et la concision des symboles mathématiques; mais l'examen de manuels ou d'articles scientifiques montre vite à quels abus elle se prête. Peut-être n'est-il parfois rien de plus que le signe d'une totale absence de sens littéraire; mais une pensée lucide devrait sans difficulté arriver à une expression lucide; si donc l'expression est confuse, il est plus que probable que l'idée elle-même est confuse. Il est regrettable que de nombreux scientifiques, particulièrement parmi les jeunes, affectent de mépriser tout style qui fasse appel à l'imagination ou soit littérairement descriptif. Ils méprisent ce style qu'ils qualifient de jargon alors qu'en fait ce sont eux qui écrivent un jargon obscur et incolore, un mélange de termes techniques et de clichés usés jusqu'à la corde.

Les mots présentent un double intérêt pour les scientifiques. Nous en avons indiqué un, en insistant sur la valeur pour la science d'une terminologie précise. Leur autre préoccupation est due au caractère toujours plus ésotérique de cette terminologie pour tout autre que l'adepte. Il est urgent et indispensable que le grand public puisse, tant dans son propre intérêt que dans celui de la science, apprécier les buts, les méthodes et les résultats scientifiques. Un langage extrêmement technique, s'il est indispensable au progrès de la science, est aussi un obstacle à la compréhension de cette même science par le profane: aussi ce dilemme n'est-il pas facile à résoudre. Un élément favorable, mais dont on n'a pas suffisamment tiré parti, est le fait qu'une bonne partie des connaissances scientifiques serait à la portée du profane si elle était exposée dans un langue moins technique. Une telle exposition perdrait évidemment en précision et en concision; elle exigerait de la part des hommes de science un gros effort et beaucoup de temps. Mais un tel effort n'est pas seulement désirable: c'est un œuvre indispensable si l'on veut réussir à combler le fossé déjà profond entre le monde de la science et le monde en général.

On est prié d'adresser les manuscrits et la correspondance au rédacteur en chef, E. J. Holmyard, Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1. Nous invitons les chercheurs qui poursuivent des travaux importants ou intéressants à nous envoyer de courtes notes sur les expériences en cours et sur leurs derniers résultats.

Quelques problèmes de psychologie expérimentale en cours d'étude

F. C. BARTLETT

« La vraie science et la vraie étude de l'homme, c'est l'homme », mais c'est une étude extrêmement difficile et complexe. Tant de facteurs divers entrent en jeu dans chaque détail du comportement d'un individu qu'il pourrait sembler presque impossible de les démêler par des méthodes scientifiques. Le Professeur Bartlett montre ici que, bien au contraire, les premiers essais furent très réussis, et que le stimulus fourni par la guerre a permis d'obtenir des renseignements très précis.

I. DÉBUTS

L'histoire de la psychologie expérimentale est courte mais bien remplie. L'Angleterre faillit avoir l'honneur de posséder le premier laboratoire destiné à l'étude de cette science puisque, en 1877, le professeur James Ward et le Dr. Venn proposèrent de créer à l'Université de Cambridge un institut de psychophysique. Mais cette tentative échoua, et c'est Wilhelm Wundt qui, deux ans plus tard, ouvrit le premier laboratoire de psychologie expérimentale à Leipzig. Wundt était un organisateur enthousiaste et compétent, mais comme expérimentateur il manquait d'originalité. Il était beaucoup plus intéressé par la description du contenu de la conscience et de la structure de la connaissance humaines que par l'étude directe et méthodique des formes spéciales du comportement de l'homme. Peut-être influencé par les recherches chimiques contemporaines, il chercha à découvrir les éléments indivisibles dans la connaissance que l'homme a de son milieu. Il les trouva, comme d'autres l'ont fait, plus par logique que par expérimentation, dans la sensation et les sentiments simples. Il s'attacha ensuite à décrire et à énumérer tous les « composés » que ces éléments peuvent former, et toutes les formes de connections qu'une longue expérience a créées entre ces « composés ». Il se servit largement d'expériences, mais plus pour illustrer sa théorie que pour découvrir des faits.

Wundt puisa dans l'énorme masse d'études expérimentales éparses des réactions humaines qui avaient été faites avant lui. Ce travail avait été presque entièrement l'œuvre de physiciens et de physiologistes. Le programme de Wundt demandait de la part du psychologue une étude préliminaire de nombreux détails anatomiques, et du côté expérimental, des recherches appropriées dans trois domaines principaux. C'étaient: la corrélation entre les caractères mesurables des stimuli physiques et les « qualités de la sensation », particulièrement celles du « mode » et de l'intensité; l'exploration détaillée des réactions et des mécanismes locaux du corps humain, en particulier des organes des sens; la mesure du temps qui s'écoule entre un stimulus sensoriel et le mouvement simple provoqué par ce stimulus. Il ajouta à celles-ci nombre d'expériences destinées à déceler le caractère de l'espace et du temps comme des catégories universelles et à déterminer leur place dans la connaissance humaine.

La renommée de Wundt est bien méritée, mais avec lui, la psychologie expérimentale a pris une orientation désastreuse, dont elle commence a peine à se débarrasser, vers l'idéologie guindée et la généralisation exagérée. Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, d'autres chercheurs parurent bientôt avec d'autres éléments, des composés différents, et d'autres formes de combinaisons. Le terrain était préparé pour une dispute prolongée entre des « écoles » opposées et des théories générales contradictoires.

Pourtant, au moment même où Wundt consolidait sa position de dictateur dans le domaine de la psychologie, un autre allemand, Hermann Ebbinghaus, se livrait à de patientes expériences sur le mécanisme de sa propre mémoire. C'était à deux points de vue, un énorme pas en avant. En premier lieu, la mémoire est un exemple de ce que l'on appelle souvent « les processus mentaux supérieurs ». Elle n'est pas conditionnée directement par les sens. Le champ de l'expérimentation s'élargissait considérablement. Mais, mieux encore, Ebbinghaus s'intéressait plus à la façon dont sa mémoire fonctionnait qu'à la nature même de sa mémoire ou à une définition de sa place précise dans la structure de la connaissance du monde. Son point de vue était véritablement fonctionnel

et par conséquent, ses méthodes et ses problèmes étaient essentiellement expérimentaux. Il trouva le meilleur moyen d'établir les conditions dont il avait besoin, la meilleure façon de modifier et de mesurer les changements consécutifs dans le fonctionnement de sa mémoire. Bien que son œuvre paraisse un peu artificielle, il a élucidé un certain nombre de points concernant le processus par lequel on se souvient et l'on oublie; la relation quantitative entre les données apprises et retenues et la méthode employée pour les retenir; les effets de la suggestion; et l'importance et la fréquence relatives de certains types de connections formées entre les données présentées.

Le conflit entre le point de vue structural et le point de vue fonctionnel qui devint manifeste dès le moment où la psychologie expérimentale a été reconnue comme une science exacte, existe encore de nos jours. Au point de vue expérimental, le résultat n'était pas douteux dès le début. Personne aujourd'hui ne conteste que l'expérimentation en psychologie a pour but de découvrir les conditions gouvernant une certaine forme de comportement, donc de fonction. Il peut s'agir d'un organe des sens; ou de l'un de ces mécanismes qui provoquent un mouvement quelconque du corps; ou de ces mécanismes beaucoup plus compliqués, mais aussi exactement déterminés qui produisent certains processus mentaux. Mises à part les différences inhérentes à son sujet, la situation est exactement celle d'un expérimentateur dans n'importe quelle branche des sciences naturelles. Lorsqu'il a découvert les conditions contrôlant le comportement qui l'intéresse et qu'il a mesuré de toutes les façons possibles les résultats des changements spécifiques de conditions, l'expérimentateur n'est nullement obligé d'utiliser ses résultats pour formuler quelque théorie générale sur la conscience ou la connaissance humaines. Il sait bien qu'en agissant ainsi il dépasserait les limites de ses expériences.

J'ai parlé du caractère un peu artificiel des premiers travaux d'Ebbinghaus sur la mémoire. Ceci mène directement à l'un des développements les plus intéressants de la méthode actuelle de la psychotechnique; aussi ce point vaut-il d'être examiné avec attention. Ebbinghaus était un expérimentateur de premier ordre. Il considérait donc tout naturellement que quiconque se prépare à étudier une fonction donnée doit prendre le plus grand soin d'isoler cette fonction afin que son jeu ne soit pas affecté par les relations, inconnues et probablement incalculables, avec d'autres fonctions. Dans le cas particulier de la mémoire, la difficulté la plus évidente résulte de ce que chaque élément dont on doit se souvenir doit être équivalent à chacun des autres, et ceci sans qu'aucun soit répété exactement. Si l'on utilise le langage, ou les formes visuelles, ou les mouvements, tels qu'ils existent dans la vie courante, chaque personne étudiée aura un handicap inconnu vis-à-vis d'une autre. Le résultat exprimera l'opération de la mémoire *plus* l'intelligence, ou une facilité particulière, ou un entraînement particulier, ou quelqu'autre chose; mais jamais la mémoire seule.

Ebbinghaus choisit le procédé simple mais remarquable consistant à utiliser des symboles qui, pensait-il, ne pouvaient avoir aucune signification *particulière* pour personne. Toutes les autres conditions: mode de présentation, nombre de répétitions, nombre d'éléments employés, etc., pouvaient être parfaitement contrôlées et le résultat devait montrer ce que la mémoire seule peut faire lorsque rien n'affecte la faculté de rétention. Il devint vite évident que les choses ne se passaient pas aussi simplement et que même les symboles apparemment les plus dénués de sens peuvent provoquer et provoquent fréquemment une série d'associations d'idées qui peuvent facilement produire une différence variable selon les personnes et selon les circonstances. On a cependant trouvé des moyens d'éliminer toutes ces difficultés et finalement, les premières expériences classiques ont obtenu le résultat cherché de faire fonctionner la mémoire dans une indépendance au moins relative vis-à-vis des autres fonctions.

Sans aucun doute, ce principe de l'isolement des réactions et des fonctions est à la fois nécessaire et essentiel surtout dans les premiers stades de l'expérimentation. Mais s'il est maintenu de façon rigide et indéfiniment il peut arriver un moment où il aboutira simplement à l'accumulation de détails de plus en plus nombreux qui ont de moins en moins de signification par rapport au sujet étudié. C'est particulièrement le cas pour un sujet tel que la psychologie dans laquelle les différentes fonctions sont reliées entre elles et où l'une d'elles peut agir sur une autre d'une façon très complexe. Il est par exemple très facile de montrer comment en réduisant à leurs plus simples éléments les temps de réaction normaux pour un certain nombre de groupes d'âges, ces temps de réaction commencent à augmenter de quelques millièmes de seconde après 30 ans, et continuent à augmenter avec l'âge. Pourtant W. R. Miles [1] a pu montrer que lorsqu'on

mesure les temps de réaction dans un ensemble d'actions rapides c'est-à-dire en relation avec des fonctions concomitantes combinées pour former un ensemble de gestes professionnels, cette augmentation peut ne pas se produire du tout. Ou encore, comme on le verra plus tard, dans d'autres cas les temps de réaction simples peuvent ne montrer aucune variation appréciable, tandis que la durée d'une action concertée comprenant exactement les mêmes éléments peut varier de façon significative.

On en trouve un autre exemple ayant à la fois un intérêt théorique et une grande importance pratique dans l'étude expérimentale de la fatigue. La méthode courante a presque toujours consisté à isoler quelque réaction simple et à la répéter dans des conditions définies jusqu'à ce que se produisent des écarts mesurables de rendement. Dans ces condition, il ne se produit rien, dans de très nombreux cas, pendant un temps relativement long, puis survient une chute catastrophique dans le rendement apparent. Mais si on réunit les différentes réactions en un geste professionnel, et que l'on fasse la mesure pour ce geste lui-même, ou que l'on trace un diagramme de son évolution, le tableau obtenu peut être tout différent. Avant, et parfois longtemps avant, que les composants du geste professionnel aient individuellement atteint le stade de fatigue, la régularité interne ou l'espacement des composants commence à se détériorer et l'exécution tend à être saccadée avec des alternances de ralentissement et d'amélioration. Quelques éléments peuvent être oubliés ou éliminés. Si l'on arrête le mouvement composé et que l'on essaye chaque constituant, l'exécutant peut sembler aussi parfait qu'au commencement. En fait cependant, l'exécution s'est modifiée parce que les relations entre les réactions composantes sont devenues de plus en plus différentes de ce qu'elles étaient au début du travail.

II. DÉTERMINATION DU COMPORTEMENT

a) Enchaînement des stimuli

Il est toujours difficile dans une revue des progrès de la recherche scientifique de tracer une ligne de démarcation nette entre la solution de problèmes purement théoriques et les progrès accomplis dans un effort destiné à surmonter des difficultés pratiques. Ceci est particulièrement vrai en psychologie dont le domaine s'étend à l'ensemble du comportement humain. Le stimulus principal à l'élaboration de nouvelles expériences a été presque toujours fourni par des conditions dépassant le cadre expérimental, et par les difficultés rencontrées par l'homme dans sa lutte avec les changements rapides des conditions de milieu. Il semble juste de noter que les périodes de réel progrès scientifique en psychologie ont coïncidé avec des périodes au cours desquelles l'humanité a eu à résoudre des problèmes essentiellement pratiques, et que, dans ce domaine en particulier, la nécessité d'appliquer les connaissances acquises a été le principal stimulant.

La cadence toujours plus accélérée de la vie moderne, dépassant rapidement toutes les possibilités connues de l'enseignement et de l'entraînement, a conduit à la multiplicité des accidents industriels et de transport, et a forcé les psychologues à concentrer leur attention sur les relations essentielles entre les indications sensorielles et les mouvements du corps. Ceci a donné naissance à de nouvelles méthodes de détection des défaillances des réactions chez des sujets soumis au surmenage, et à toute une théorie sur la « prédisposition aux accidents », dont on est encore loin d'apprécier toute la signification.

Le développement simultané de la spécialisation très poussée dans tous les domaines de la vie, et de la rivalité économique mondiale, ont été des stimulants puissants, mais non pas les seuls, et ils ont amené les psychologues à chercher des méthodes plus constantes et plus sûres pour déterminer les différents niveaux d'intelligence, et pour déceler des qualités fondamentales nécessaires à l'acquisition d'une habileté technique déterminée. Ceci a conduit à une extension de la théorie sur les bases de l'intelligence et de ses caractères, et sur les variétés d'habiletés techniques particulières et les moyens permettant de les développer.

Les progrès que je désire tout particulièrement examiner ont presque tous été le résultat de la mécanisation de l'effort humain, particulièrement apparente au cours de la guerre actuelle. Dès le début de la guerre, les psychotechniciens du monde entier furent assaillis de questions concernant les réactions que l'on pouvait attendre dans des conditions particulières et dans des conditions de tension, de la part d'hommes ayant affaire à des machines qui selon le cas les aident ou les gênent.

Les psychologues n'ont pas manqué d'être surpris et un peu humiliés de constater que malgré l'énorme masse des recherches de laboratoire des soixante dernières années, il y avait peu de ces questions auxquelles ils pouvaient répondre avec certitude. Les raisons fondamentales étaient presque toujours les mêmes. On savait beaucoup de choses, quoique pas assez, sur la façon dont certains sens réagissent à certains stimuli, mais

peu de choses sur la façon dont différents sens et différents processus de perception coopèrent pour répondre à des stimuli variés de diverses sortes. On avait établi le cours et la durée de certains mouvements simples. Mais on en savait beaucoup moins sur les limites de leur précision, et presque rien sur leurs relations réciproques durant une action continue.

Chaque machine présente à celui qui l'emploie deux types de problèmes. Premièrement elle lui fournit certains stimuli qui doivent lui indiquer comment il doit agir. Ces stimuli sont rarement statiques et changent généralement d'une façon plus ou moins déterminée à l'avance. Deuxièmement elle lui fournit des volants, des leviers, des interrupteurs, et autres dispositifs que ses mains, ses pieds, ou même d'autres parties de son corps doivent faire agir en réponse aux stimuli pour obtenir les résultats voulus. Ces gestes ne sont presque jamais isolés mais faits en série.

Il est commode d'utiliser la terminologie courante et d'appeler les problèmes du premier type, problèmes de signalisation, et ceux du second type, problèmes de contrôle.

Les machines sont construites, pour la plupart, d'après la supposition, probablement correcte, que le mode de signalisation le plus simple et le plus sûr pour un homme normal est la signalisation visuelle. Mais peu d'opérations sont basées sur la signalisation visuelle seule. Les indications visuelles, soit délibérément, soit à la suite d'expériences antérieures, sont complétées par d'autres, parfois auditives ou tactiles, parfois olfactives et gustatives. Il est inévitable que les mouvements de contrôle déclanchent encore d'autres stimuli sensoriels qui, bien qu'ils soient d'origine secondaire peuvent avoir une énorme influence déterminante et font certainement partie de la signalisation.

Différents stimuli sensoriels présents au même moment poussent parfois l'opérateur à faire des mouvements contradictoires ou à essayer des réglages qui ne s'accordent pas facilement. Ceci par exemple peut très bien se produire lorsque la machine tout entière est mobile. La position du corps, l'orientation de la machine elle-même, la vitesse et la direction du mouvement, peuvent sembler toutes différentes selon que l'opérateur se fie à ses sensations physiques, ou à ses instruments enregistreurs, comme par exemple ceux du tableau de bord d'un avion. Si l'homme se laisse guider par les mouvements de son corps et par ses sensations posturales, il fera certains gestes, s'il obéit à ses sensations visuelles, il en fera d'autres.

Ce n'est qu'après s'être rendu compte que cette situation est une source de difficultés sérieuses, en particulier dans le vol, que l'on commença à l'étudier soigneusement. Il est évidemment facile de réaliser expérimentalement les conditions voulues. On obtint quelques résultats intéressants. Premièrement, la prédominance des indications visuelles dans le cas de « conflits sensoriels » n'est pas du tout aussi marquée qu'on le suppose généralement. Deuxièmement, la plupart des gens ont une préférence naturelle pour un certain mode de réaction sensorielle qui persiste souvent, même lorsque l'on prend grand soin de la vaincre, et qui tend à se produire dans des conditions de tension ou de fatigue. Troisièmement, dans de telles conditions, un nombre considérable de gens essayent de faire des « compromis » qui les mettent en général en difficulté. Quatrièmement, l'efficacité de tel ou tel stimulus sensoriel peut être momentanément fortement affectée par des impressions récentes ou concomitantes, dont beaucoup peuvent même n'être pas sensorielles [2].

Chacun de ces résultats ouvre un nouveau champ pour l'expérimentation. Pour diverses raisons c'est celui de la relation de l'effort et de la fatigue qui a paru être le plus intéressant et le plus urgent. Pourquoi le travail sous tension semble-t-il faire réapparaître certaines réactions que l'opérateur a appris à éliminer, et qu'il ne désire certainement pas avoir? Pour répondre à cette question et aux questions qui en découlent il fallait trouver un moyen d'étudier la fatigue « technique », ou détérioration du travail, caractéristique d'une réponse adaptée à un ensemble changeant de stimulations dans lequel plusieurs types de stimuli entrent en jeu. Comme l'exemple pratique le plus marquant d'un cas de ce genre était une fois de plus celui du pilote d'avion, on construisit un poste de pilotage expérimental dans lequel on pouvait reproduire et mesurer graphiquement tous les constituants essentiels du comportement du pilote en vol. On remarqua vite que la fatigue « technique » et la simple fatigue « musculaire » ou « sensorielle », sont deux choses différentes. La première est caractérisée particulièrement, sauf dans les cas extrêmes, non pas par une incapacité croissante d'exécuter les mouvements voulus, mais par une impossibilité de les exécuter au moment correct. Il est peu probable que l'opérateur fasse un geste « incorrect », il fera plutôt soit le geste « correct » au mauvais moment, soit un geste qui n'a aucune utilité pratique [3].

L'emploi du poste de pilotage expérimental a montré qu'il est possible d'étudier sous contrôle

et avec des enregistrements objectifs, les conditions et le déroulement d'une combinaison très compliquée de gestes techniques. Mais il est évident qu'on ne peut l'employer extensivement, car il demande un opérateur qui a été soumis à un entraînement spécial très difficile. Il faut donc trouver un procédé plus simple mais qui conserve cependant les caractères essentiels de technicité. C'est beaucoup moins facile qu'il ne semble et l'on n'a pu encore réaliser un dispositif expérimental entièrement satisfaisant. La figure 1 représente la tentative la plus réussie jusqu'à présent. Comme on le voit, l'opérateur fait tourner une roue avec sa main gauche et dirige ainsi, en contrôlant sa vitesse, le mouvement de l'aiguille verticale entre les trois lignes tracées à la partie inférieure sur l'écran blanc du bas. Au-dessus de cet écran se trouvent deux lampes. Si la lampe de gauche s'allume l'opérateur doit amener l'aiguille sur la ligne de gauche. La lampe de droite indique un mouvement analogue mais en sens inverse. Les deux lampes peuvent s'allumer à la fois. Dans ce cas, l'opérateur doit imprimer le mouvement dans le sens du signal le plus brillant. La différence d'éclat des lampes peut être aux environs ou au-dessous du seuil, et dans ce cas l'opérateur se trouve en face d'un dilemme. Le levier de droite doit également être maintenu en position contre une résistance déterminée, de façon à ce que l'aiguille placée en haut de l'écran blanc reste immobile. Tous les mouvements sont enregistrés ainsi que les temps de réaction de chaque élément de la réponse.

La figure 2 représente, sous une forme simplifiée trois tracés caractéristiques. Le premier est normal à tous les points de vue, le second décèle un trouble d'un type particulier après un stimulus « difficile », tandis que le troisième est celui d'un opérateur souffrant d'un haut degré de fatigue accumulée. Le premier indique une réponse parfaitement normale à un stimulus simple, « une lampe »: la première déflexion et le retour sont

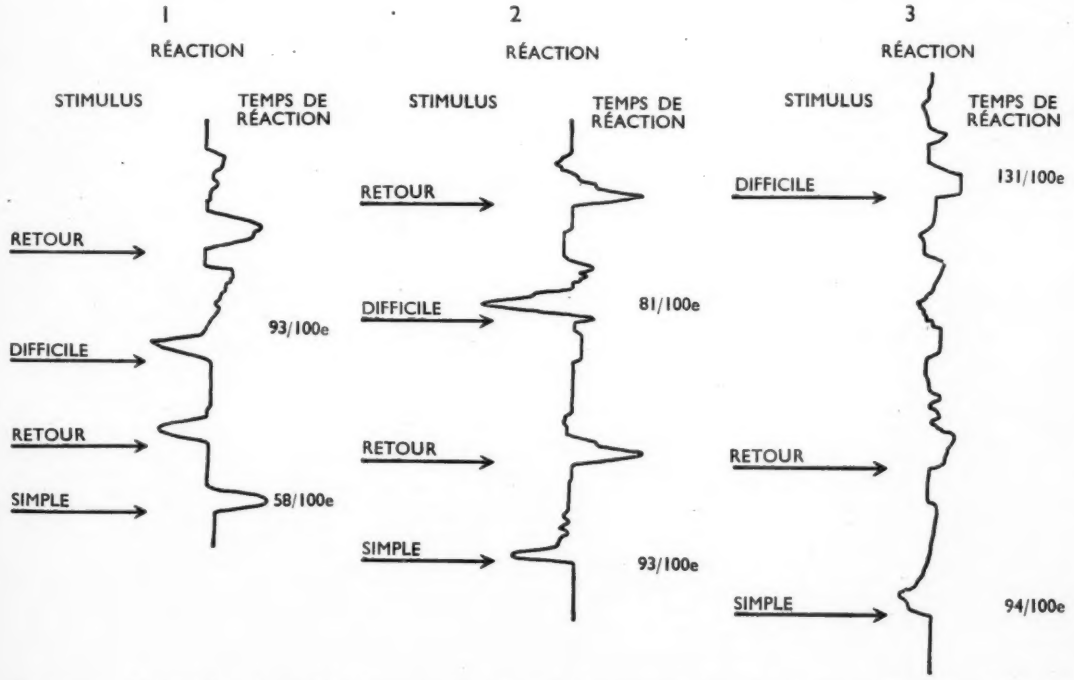


FIGURE 2 – *Le tracé* 1, *qui est celui des mouvements du volant de commande, présente une réaction presque parfaite à un stimulus simple avec retour. La réaction et le retour après un stimulus demandant une discrimination difficile sont tous deux perturbés, le mouvement vers l'extérieur est fait moins rapidement et le mouvement vers l'intérieur est moins régulier. Le tracé* 2 *montre un autre type de perturbation. Le premier mouvement a été fait dans une direction après un bref temps de réaction puis a été renversé. Le mouvement consécutif vers l'extérieur est plus ample que celui qui a suivi le stimulus simple.*
Le tracé 3 *est celui d'un sujet « fatigué ». Il présente dans l'intervalle des stimuli des mouvements incessants très marqués qui sont presque aussi importants que les réactions elles-mêmes. Celles-ci sont faibles et irrégulières, et les temps de réaction sont étonnamment longs.*

exécutés sans arrêt et avec le minimum d'« hésitation ». La réponse au stimulus difficile, (discrimination entre deux lampes allumées ensemble) est bonne, mais le fait significatif est que, *après* son accomplissement on constate un tremblement assez prolongé affectant le retour et empêchant l'opérateur de maintenir une position stable. Le deuxième tracé présente une répercussion plus marquée de la réaction « difficile ».

Le troisième tracé semble à première vue déceler une activité fortement diminuée. Il est vrai que le stimulus visuel produit des réactions moins importantes et plus étalées; mais dans l'ensemble, il y a un accroissement d'activité. Il existe un tremblement marqué, avec des erreurs en plus et en moins surtout après le stimulus difficile bien que ceci ne se voie pas bien sur le fragment de tracé donné. De plus, les temps de réaction enregistrés dénotent un ralentissement significatif, particulièrement dans les cas difficiles; et pourtant, si l'on enregistre séparément et dans une expérience à part, ces temps de réaction, ils ne montrent souvent aucune différence entre l'opérateur fatigué ou « prudent », et les autres.

Il n'est pas possible de représenter ici l'effet de la manipulation simultanée du levier placé à droite. On a cependant de fortes raisons de croire que, surtout si la résistance est assez considérable, la main gauche agit avec plus d'énergie et qu'il en résulte une augmentation des erreurs en plus et en moins.

Ce que nous avons dit suffira sans doute à montrer que les expériences basées sur des conditions dans lesquelles on fait agir simultanément des types différents de stimuli de signification variée soulèvent des problèmes extrêmement intéressants. Leur développement donnera probablement des résultats portant sur des opérations mécaniques de diverses sortes, qu'elles soient extrêmement spécialisées comme dans le pilotage d'un avion ou la recherche d'un objectif, ou qu'il s'agisse du travail industriel courant. L'adaptation des modes de signalisation ou de contrôle à des fonctions humaines très variées aura une base scientifique solide. Ces travaux ouvrent aussi la voie à des études théoriques, car ils ont montré que, contrairement à l'opinion admise, on ne peut pas déduire le déroulement, le caractère et les conditions des fonctions humaines coordonnées lorsqu'on connaît leurs éléments constitutifs [4].

b) Enchaînement des réactions

Bien peu des actions humaines sont constituées par une réaction simple ou un seul mouvement. Ce sont parfois les mêmes mouvements répétés en série, ou la répétition d'un cycle de mouvements, ou différents mouvements convenablement espacés à la suite les uns des autres. Et pourtant, l'étude des temps de réaction par les psychotechniciens a généralement été faite en considérant uniquement l'intervalle compris entre quelque stimulus très simple ou un groupe de stimuli de ce genre, et quelque réaction définie et également simple, telle que l'ouverture ou la fermeture d'un circuit par un petit mouvement du doigt, de la main, du pied, des lèvres, ou des organes vocaux.

De plus, le temps indiqué a presque toujours été celui de la réaction simple, soit à une forme invariable de stimulus, soit à un certain stimulus appartenant à un groupe et dont on doit avoir « discriminé » le caractère ou pour lequel on a « choisi » une réponse spécialement désignée. Si l'on considère la quantité d'ingéniosité et de travail dépensée à l'étude des temps de réaction, les résultats obtenus sont décevants, aussi bien au point de vue théorique qu'au point de vue pratique.

Il est maintenant clair que l'intervalle entre chaque élément d'une réaction et *les éléments qui précèdent et ceux qui suivent* est d'une importance primordiale. Il faut, et l'on commence à le faire, considérer chaque temps de réaction comme un élément dans une série, qui dépend de sa place dans la série et qui varie, vraisemblablement de façon constante, en fonction de ce qui précède et de ce qui va probablement suivre.

On a déjà fait quelques tentatives pour reprendre dans ce sens l'étude des temps de réaction. On a mesuré en série les vitesses d'accommodation visuelle, en faisant apparaître un « C », alternativement de près et de loin, dont l'ouverture fait face au nord, au sud, à l'est, ou à l'ouest. Le sujet enregistre la position de l'ouverture par pression du doigt sur une simple manette. Lorsqu'il travaille sous tension, c'est-à-dire à un taux supérieur à celui pour lequel il ne fait que très rarement des erreurs, on enregistre des « pannes ». Une « panne » consiste en une série d'un certain nombre, empiriquement déterminé, de « mauvaises » lectures ou d'omissions. Si nous considérons le temps de réaction moyen de six réponses consécutives correctes précédant une « panne », nous constatons une augmentation de durée notable, et l'augmentation précédant immédiatement la panne est significative. On ignore s'il s'agit seulement d'un ralentissement de la vitesse d'accommodation, ou si le mouvement du doigt et le processus de réception visuelle jouent également un rôle.

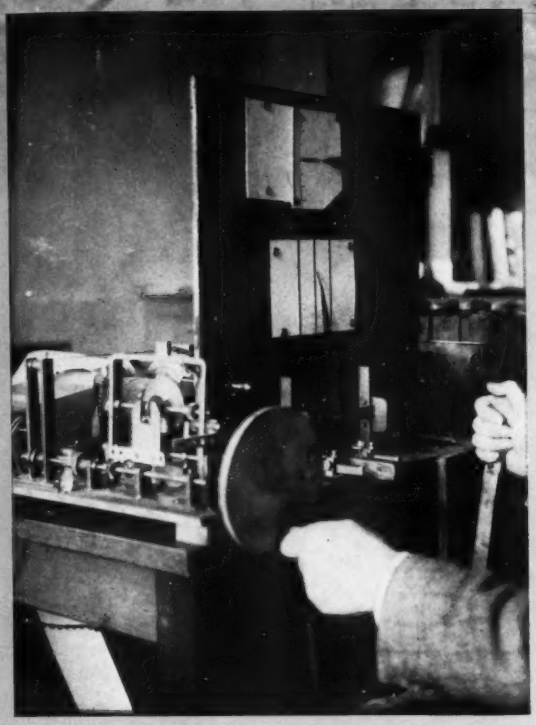
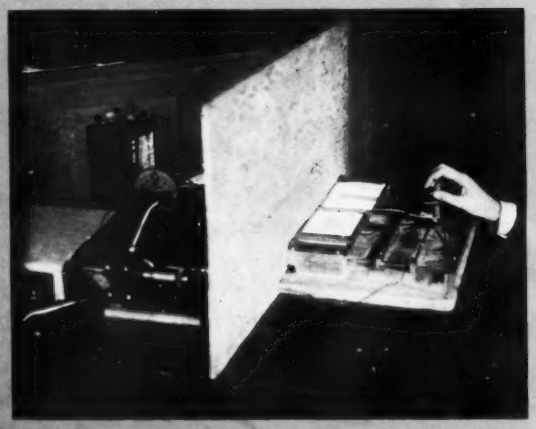


FIGURE 1 (*à gauche*) – *Le sujet déplace transversalement l'aiguille en tournant le volant de commande, qui agit par l'intermédiaire d'un engrenage (visible à gauche de la photographie). L'aiguille est maintenue sur la ligne médiane du tableau jusqu'à l'apparition d'un signal lumineux qui indique sur laquelle des lignes latérales l'aiguille doit être amenée. Le sujet ramène l'aiguille sur la ligne médiane lorsque l'ordre lui en est donné verbalement et attend le signal lumineux suivant. Pendant toute l'opération le levier de droite doit être maintenu à l'encontre d'une résistance donnée afin de maintenir en position l'aiguille placée sur l'écran blanc du haut.*

FIGURE 3 (*ci-dessous*) – *Test de mouvement musculaire. L'opérateur doit essayer, en contrôlant les mouvements de la main et du poignet, d'amener l'aiguille de la ligne inférieure tracée sur le cylindre à la ligne supérieure sans regarder ce qu'il fait. Après avoir ramené l'aiguille en bas, il peut regarder le tracé et recommencer. Par répétition il s'habitue au rapport d'engrenage et l'exécution devient régulière. Les erreurs sont relativement petites lorsque l'amplitude du mouvement est comprise entre 30 et 250 mm, mais avec des mouvements de plus faible amplitude, la marge d'erreur augmente rapidement.*

FIGURE 5 (*ci-dessous*) – « *Le singe sautant* ».



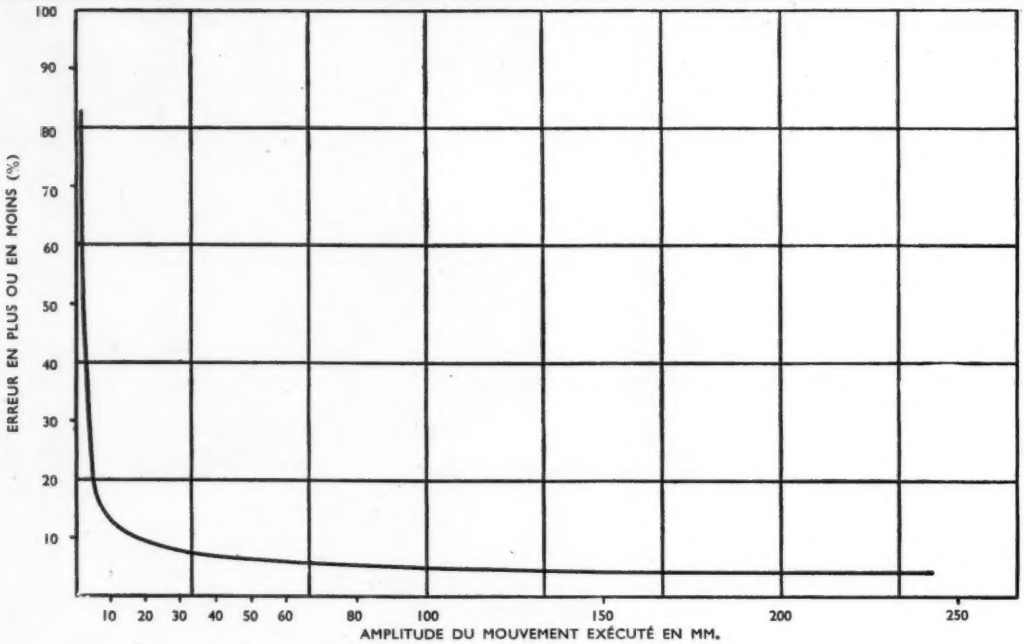


FIGURE 4

Le fait intéressant est que l'on a ainsi démontré que la durée d'une réaction peut être nettement affectée par la place occupée par cette réaction dans la série à laquelle elle appartient. C'est évidemment ce à quoi on pouvait s'attendre d'une façon générale, et il faut que la tendance à considérer les éléments séparément ait été très forte pour avoir empêché l'étude des temps de réaction en tenant davantage compte des autres facteurs de la série.

c) Précision du contrôle des mouvements du corps

On peut donc s'attendre à voir la psychologie expérimentale s'attacher de plus en plus, dans l'avenir immédiat, à l'étude chez l'homme de l'habileté professionnelle, des conditions dans lesquelles elle s'acquiert, de ses constituants fondamentaux (particulièrement en ce qui concerne les mouvements corporels), et peut-être à considérer plus particulièrement l'intervalle entre les constituants en fonction de leur place dans l'ensemble de l'exécution ainsi que la durée de celui-ci. Mais il est impossible d'aller très avant dans ce genre d'études sans avoir essayé sérieusement de déterminer les limites et les conditions de précision des types les plus simples des mouvements fondamentaux entrant en jeu. Ce sont, une fois de plus, les nécessités pratiques qui ont imposé une façon nouvelle d'aborder ce vieux problème et ces nécessités sont nées de ce même processus de remplacement de l'homme par la machine dont nous avons déjà parlé.

Les machines peuvent faire beaucoup, mais elles doivent généralement être surveillées; et pour surveiller une machine une habileté professionnelle, parfois très poussée, est nécessaire. Il peut y avoir cependant des périodes pendant lesquelles la machine peut se surveiller elle-même. Le « pilote automatique », ou d'autres formes de « servo-mécanismes » peuvent soulager le pilote humain ou tout autre surveillant d'une machine; mais pendant certaines phases critiques d'un vol, lorsque les évènements vont se succéder très rapidement ou de façon inattendue, le pilote humain reprend sa place et cela se produit également dans d'autres domaines.

Il semble que l'adaptabilité et la souplesse de l'opérateur humain aient à la fois des avantages et des inconvénients. Quels sont-ils, et quelles relations ont-ils avec les avantages et les inconvénients des « servo-mécanismes »? Nous retrouvons, sous une forme légèrement différente, la question de la « commande» dans la mise au point d'une machine. Car il est certain que certains types de machines tirent meilleur parti que d'autres des qualités et des défauts dont nous venons de parler.

Il s'agit également de problèmes théoriques intéressants. Pour progresser, il faut analyser et étudier expérimentalement, les types principaux

de mouvements corporels, et les perceptions qui les accompangent, particulièrement en ce qui concerne leur portée, leur direction, leur changement de direction, et leur vitesse ou leur durée, et aussi le degré d'exactitude de l'ensemble par rapport aux standards désirés.

La figure 3 représente un dispositif expérimental pour une étude de ce genre. Dans ce cas, l'opérateur doit essayer, en contrôlant les mouvements de sa main et de son poignet, d'amener le style de la ligne inférieure tracée sur le cylindre à la ligne supérieure, sans voir ce qu'il fait. Lorsqu'il a ramené le style en bas, il peut regarder le tracé et recommencer. Il s'habitue très vite au rapport d'engrenage de l'appareil et manœuvre celui-ci avec régularité. Les erreurs commises par l'opérateur lorsqu'il essaye d'atteindre exactement la ligne supérieure sont en registrées et le graphique de la figure 4 donne la courbe normale de l'erreur. On peut constater qu'il y a relativement peu d'erreur pour des mouvements de réglage de cette sorte lorsque le déplacement nécessaire varie entre 30 et 250 mm. Mais lorsque l'amplitude du mouvement approche de 10 mm, on peut s'attendre à ce que l'erreur augmente rapidement.

Des données exactes s'accumulent maintenant rapidement, concernant l'influence sur la précision de direction, de trajet, de vitesse et de charge de nombreux mouvements fondamentaux effectués par différents groupes de muscles en connection avec les divers types de signalisation étudiés dans les expériences déjà mentionnées.

L'étude de la figure 4 révèle une autre caractéristique qui est également vraie pour une gamme étendue de fonctions humaines. Des variations d'amplitude du mouvement, dans ce cas entre certaines limites, ne modifient pas sensiblement la précision. Puis on arrive à un point critique. Un petit changement d'amplitude au-delà de cette limite donne une rapide augmentation des erreurs. Il en est de même de beaucoup d'actions dépendant de l'emploi des yeux, des oreilles, des mécanismes de comparaison, de discrimination et de perception, et en fait, des fonctions situées à tous les niveaux de réaction dont l'homme est capable. Il est probable que dans le proche avenir on demandera de plus en plus aux psychotechniciens de déterminer les limites entre lesquelles la variation des conditions objectives ne provoque que de très petites modifications dans l'exécution, mais en dehors desquelles même un changement minime peut produire une amélioration ou une détérioration significatives [6].

III. TESTS

Les tests employés en psychologie expérimentale et leur utilisation intensive, ont soulevé un intérêt général et nous en dirons quelques mots. Les buts d'un test psychologique et ceux d'une expérience de psychologie sont entièrement différents. L'expérience tente de déterminer et de mesurer les effets des conditions et des changements de conditions sur une fonction en cours d'étude, avec le but principal de donner une explication de cette fonction en en définissant la cause. Le test est diagnostique et essentiellement pratique. Il met le sujet en face d'une situation considérée comme typique qui est en général complexe et peut n'avoir pas été analysée. Il fournit un moyen fidèle d'enregistrer ou d'évaluer l'action réalisée par le sujet dans cette situation, et d'en déduire son comportement probable dans d'autres situations. Le technicien qui procède à ces tests fournit souvent des problèmes à l'expérimentateur; celui-ci peut à son tour suggérer des méthodes d'essais, mais les buts et les façons de procéder de tous deux restent différents.

Il existe des tests à la fois fidèles et valables pour apprécier l'intelligence symbolique verbale ou numérique. Il en existe également pour un certain nombre d'habiletés professionnelles, et ils sont compris entre des limites beaucoup plus strictes qu'on ne le croit généralement. Ils n'existent encore que sous une forme élémentaire et imprécise pour les caractéristiques du tempérament et de la personnalité. Le développement doit porter actuellement surtout sur l'amélioration des tests de tempérament, l'extension des tests d'habileté spécialisée, et l'établissement de tests destinés à ce que l'on appelle habituellement « l'intelligence pratique ». Pour les tests en général il est nécessaire d'améliorer les méthodes de notation et d'examiner de façon critique et très rigoureuse les hypothèses qui sont à la base du traitement statistique des résultats. La plupart des tests, sinon tous, n'ont de signification qu'au point de vue statistique. Ils ne disent rien de l'individu, mais indiquent seulement quelle proportion d'une catégorie donnée d'individus a des chances de réussir ou d'échouer dans un domaine donné d'opérations.

La figure 5 (« le singe sautant ») représente un test de variété dans l'habileté. Le sujet tient un levier qui peut se déplacer verticalement ou horizontalement et qui gouverne la position de l'aiguille visible à droite. Une petite bille d'acier se trouve sur un bloc de papier quadrillé visible en blanc à gauche sur la photographie. Le sujet

détermine sa position, déplace l'aiguille jusqu'à ce que sa pointe se trouve exactement au-dessus de la position correspondante sur le papier quadrillé de droite. Il presse le levier, et si son appréciation et ses mouvements sont corrects, la bille se déplace immédiatement vers une nouvelle position imprévisible. En appuyant sur une clef Morse, le sujet arrête le déplacement de la bille et recommence toute l'opération aussi longtemps qu'il peut être nécessaire. Il travaille toujours sous tension. La disposition du quadrillage à droite peut être la même que pour celui de gauche ou peut varier de façon déterminée.

Il est évident que la situation et l'exécution sont toutes deux extrêmement complexes. L'exécution demande de la rapidité, de la précision et de la délicatesse de mouvement et de toucher, de la précision dans le repérage visuel et la capacité d'utiliser avec aisance les coordonnées spatiales. Le sujet doit, pour réussir, rester calme et maître de lui malgré la tension. On ne fait néanmoins aucune tentative pour mesurer séparément ces éléments. La notation est basée sur le temps utilisé pour chaque « bloc » d'opérations. L'ensemble de l'activité mise en jeu est susceptible normalement de s'améliorer rapidement et de façon marquée. La donnée la plus significative semble être la question de savoir si un individu donné restera ou non entre les limites normales de ces améliorations [7].

Les qualités nécessaires pour réussir dans ce cas semblent avoir un rapport direct, mais encore mal compris, avec certains aspects de l'« intelligence pratique ». Ceci n'a pas encore été complètement démontré, mais nous avons mentionné ce test ici parce qu'il se trouve appartenir à l'un des points en progrès de cette partie de la psychologie actuelle.

Les tests peuvent certainement permettre de distinguer les personnes ayant des niveaux d'intelligence ou d'habileté technique supérieurs ou inférieurs. Leur emploi est économique, et, à condition qu'il soit possible de suivre les sujets, ils peuvent être vérifiés plus exactement que les autres méthodes de sélection. Ils sont beaucoup moins satisfaisants lorsqu'ils sont appliqués à cette catégorie d'individus, de beaucoup la plus nombreuse, doués d'un degré moyen d'aptitudes, ou qu'il portent sur la catégorie d'opérations ne demandant que ce degré moyen d'aptitudes. Il n'est donc pas exagéré de dire que, même du point de vue pratique, on peut attendre davantage des expériences destinées à montrer le caractère, le déterminisme, et la distribution d'activités humaines fonctionnant normalement, que de l'emploi direct de tests de sélection. Les deux sont nécessaires, mais chaque progrès réalisé dans le sens d'une compréhension théorique plus complète des conditions déterminantes du comportement humain sous toutes ses formes rend plus proche le moment où l'on pourra élaborer des opérations plus pratiques telles que signalisation, contrôle et conditions générales de fonctionnement mises à la portée des limites normales des aptitudes humaines courantes. Le vrai rôle des tests est l'identification économique des extrêmes, qu'ils soient bons ou mauvais.

NOTE. La plupart des travaux décrits dans la partie de l'article ci-dessus traitant des développements en cours ont été poursuivis, et le sont toujours, au Psychological Laboratory de l'Université de Cambridge. La plus grande partie en est due à la « Medical Research Council Unit in Applied Psychology » qui y est installée et dont le directeur est le Dr K. J. W. Craik. Il aurait d'ailleurs été possible de choisir tout autre centre de recherches de psychologie travaillant activement et de se servir de son travail pour illustrer les mêmes points.

BIBLIOGRAPHIE

[1] MILES, W. R. « Teaching, Practice and Mental Longevity », *Science*, **81**, (2091, 79–87).

[2] J'ai donné un autre bref exposé de ce travail, dont les détails sont encore inédits, dans *Proc. Phys. Soc.*, **55**, 417–425. « Current Problems in Visual Function and Visual Perception ».

[3] Beaucoup d'autres détails sont discutés dans ma « Ferrier Lecture », *Proc. Roy. Soc. B*, **131**, 247–257. « Fatigue following Highly Skilled Work ».

[4] Aucun exposé détaillé de ce travail n'a encore été publié. Il est poursuivi à Cambridge par le Dr D. Russell Davis, qui fait partie de la M.R.C. Unit in Applied Psychology.

[5] Le travail cité est inédit. Il été effectué par le Dr I. M. Frankau, également membre de la M.R.C. Unit de Cambridge.

[6] L'expérience choisie comme illustration dans cette section fait partie d'une série d'investigations étroitement apparentées effectuées par le Dr K. J. W. Craik.

[7] C'est un des tests mis au point récemment et utilisés à Cambridge. Aucun exposé détaillé n'a encore été publié.

John Harris et son *Lexicon Technicum*

D. McKIE

Le Docteur Johnson, lui-même compilateur d'un dictionnaire célèbre, définit en ces termes un lexicographe: « un inoffensif gratte-papier ». Ce dénigrement humoristique de soi-même n'est pas entièrement justifié car même les mots en tant que tels ont leur magie. Leur définition précise, toujours souhaitable, devient une nécessité première en science, aussi devons nous rendre hommage à John Harris, qui assura à son pays l'honneur d'avoir produit le tout premier dictionnaire technique scientifique.

De nos jours, les dictionnaires techniques nous sont si familiers que nous nous attachons peu à leur histoire. En Grande Bretagne cependant nous pouvons penser avec quelque fierté que le premier lexicographe scientifique, John Harris, est un de nos compatriotes et que son *Lexicon Technicum*, publié à Londres en 1704, fut le premier du genre dans la littérature scientifique.

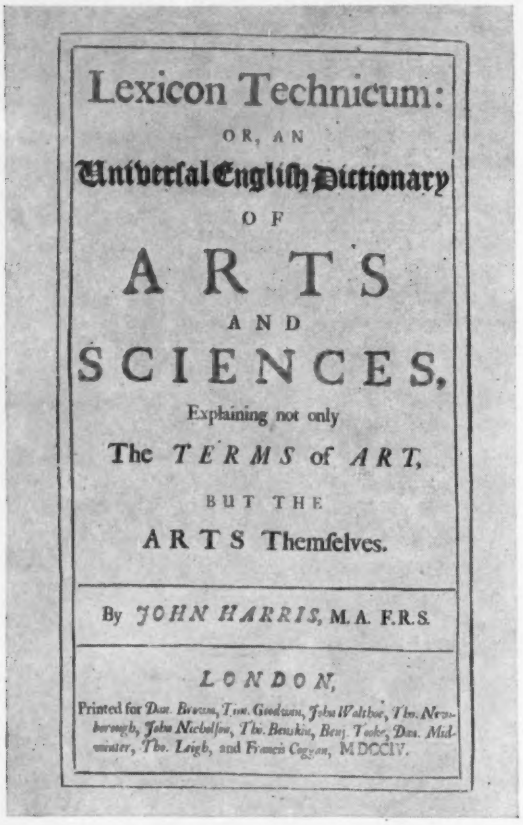
On connaît peu de choses sur les débuts de la vie de Harris, sauf le fait qu'il naquit aux environs de 1666 et qu'il fut étudiant à Trinity College, Oxford, de 1684 à 1688. Après avoir acquis ses diplômes, il entra dans les ordres et devint vicaire de Ickelsham, dans le Sussex, ensuite recteur de Winchelsea; il obtint par la suite le grade de docteur en théologie. En 1715, il devint recteur de East Barming, comté de Kent.

Harris s'intéressait beaucoup aux sciences et il fut choisi en 1698 pour faire les « Conférences Boyle » — une série de sermons en mémoire de Robert Boyle, en faveur de la religion chrétienne par rapport à l'infidélité religieuse. A peu près à cette époque il commença également à faire des cours de mathématiques à la Marine Coffee House, dans Birchin Lane, à Londres. Il enseignait aussi les mathématiques dans sa maison de Amen Corner « où quiconque pouvait loger et être instruit au mois ». Il est intéressant de rappeler ici aussi que cinquante ans auparavant, dans ce même Amen Corner, vivait William Johnson dont le *Lexicon Chymicum* (Londres, 1652–3, 2 vols. et autres éditions) fut le premier dictionnaire de chimie, mais non pas, bien entendu, un dictionnaire général de science.

FIGURE 1 – *John Harris, M.A., F.R.S.* (*c.* 1666–1719) *compilateur du premier dictionnaire technique. Portrait formant frontispice dans son* Lexicon Technicum (1704), *gravé par G. White d'après un dessin de l'époque par R. White, et représentant Harris à l'âge de* 37 *ans.*

Les hommes de contemporains de Harris semblent l'avoir apprécié. Il était membre du conseil de la Royal Society et devint l'un de ses sécretaires en 1709–10, sous la présidence de Newton, tandis que l'autre sécretaire était Sir Hans Sloane, qui succéda à Newton comme président. On croit que Harris fut vice-président de cette société pendant quelque temps.

Harris écrivit un certain nombre de livres sur divers sujets, quelques-uns à l'instigation



Lexicon Technicum:
OR, AN
Universal English Dictionary
OF
ARTS
AND
SCIENCES,
Explaining not only
The *TERMS* of *ART*,
BUT THE
ARTS Themselves.

By *JOHN HARRIS*, M.A. F.R.S.

LONDON,
Printed for *Dan. Brown*, *Tim. Goodwin*, *John Walthoe*, *Tho. Newborough*, *John Nicholson*, *Tho. Bennet*, *Benj. Tooke*, *Dan. Midwinter*, *Tho. Leigh*, and *Francis Coggan*, MDCCIV.

FIGURE 2 – *Frontispice de la première édition de* Lexicon Technicum (*Londres* 1704), *premier dictionnaire technique de la littérature scientifique.*

des libraires. Parmi ceux-ci, on peut citer la série de « Conférences Boyle», faites en 1698, et des sermons en faveur de la loyauté et contre la trahison et la rébellion. D'autres traitaient d'astronomie, de géographie et de l'étude de la sphère; le plus intéressant de ses ouvrages est le *Lexicon* de 1704. Harris mourut le 7 Septembre 1719, à Norton Court, dans le comté de Kent, « dans l'indigence complète» et fut enterré à Norton Church, aux frais de son ami et bienfaiteur, John Godfrey.

Le titre complet du *Lexicon* était *Lexicon Technicum; ou un dictionnaire anglais universel des Arts et des Sciences expliquant non seulement les termes de l'Art, mais les Arts eux-mêmes.* Il parut d'abord en 1704 sous forme d'in-folio avec le portrait d'Harris en frontispice. Il était dédié au Prince Georges de Danemark, consort de la reine Anne. Le volume était bien illustré par des diagrammes et un certain nombre de dépliants. Il expliquait plus de 8.200 termes scientifiques. Dans la préface de cette première édition Harris dit:

> Mon but a été de faire un dictionnaire non pas simplement des *mots* mais des *choses*, et de permettre au lecteur d'y trouver l'explication non seulement des mots *techniques* ou des termes d'art employés dans toutes les *Sciences libérales*, ainsi que ceux qui sont voisins, mais aussi de ces *Arts eux-mêmes*, en particulier ceux qui sont les plus utiles et les plus avantageux pour l'humanité.

Le *Lexicon*, selon la coutume de ce temps, fut publié par souscription. Parmi les noms des neufcents souscripteurs figurant au début du livre, on relève ceux de « Monsieur Isaac Newton, directeur de la Monnaie », « Richard Bentley, Docteur en Théologie, Principal de Trinity College à Cambridge », « Monsieur Hawkesbee » et « Monsieur Jeremy Clarke, organiste de la cathédrale St. Paul ».

L'expression « Arts et Sciences » avait une sens plus large au temps de Harris que de nos jours. C'est ainsi qu'il traite non seulement de tout ce que nous appelons aujourd'hui science, ainsi que de navigation, de topographie, de balistique, d'architecture, de gréage des navires et d'horlogerie, mais encore de droit, de musique, d'art et de science héraldique. Dans la préface à la première édition Harris mentionne que « le Catalogue, Ascensions droites, Déclinaisons, etc., des *étoiles fixes*, est très imparfait; la raison en est qu'il plut à Mr *Flamstede*, sur qui je pensais pouvoir compter, de me refuser tout renseignement à ce sujet ». Harris ne lui en tint pas rigueur puisqu'il appelle d'autre part Flamsteed « cet excellent astronome ».

Un supplément au *Lexicon* parut en 1710. Harris y mentionnait que l'on avait vendu près de deux éditions du premier volume et donnait une liste de plus de 1.200 souscripteurs au nouveau volume qui contenait plus de 1.900 articles, un grand nombre de tables et la seule communication de chimie que Newton ait jamais publié, ayant trait aux acides, avec texte latin et traduction en Anglais.

Il y eut du vivant de Harris d'autres éditions du *Lexicon*, puis d'autres encore après sa mort. Le livre eut sans aucun doute du succès. La cinquième et dernière édition parut en deux volumes en 1736 et contenait environ 12.000 articles. En 1744 il parut un in-folio supplémentaire, composé par une « Society of gentlemen » comme nous le voyons à la première page, sous le titre « Supplément au Dictionnaire des Arts et des Sciences du

Docteur Harris». Ce supplément contenait environ 4.000 articles, ce qui fait que la cinquième édition et son supplément contiennent environ 16.000 articles en trois gros in-folios avec de nombreux diagrammes et dépliants. Le travail avait été bien fait tout au long des quarante années écoulées depuis sa parution.

On se rend compte de la qualité du travail de Harris si l'on examine les termes de l'une des sciences de son *Lexicon*. Il paraît approprié de choisir la chimie. Ce n'était pas le domaine particulier de Harris qui était mathématicien. De plus, au début du dix-huitième siècle la chimie arrivait lentement au point culminant de sa longue histoire. La synthèse physique, réalisée par Newton dans son ouvrage immortel *Principia*, paru en 1687, triomphait, mais la synthèse chimique ne devait venir que près d'un siècle plus tard et la pensée en chimie présentait encore beaucoup de traits médiévaux.

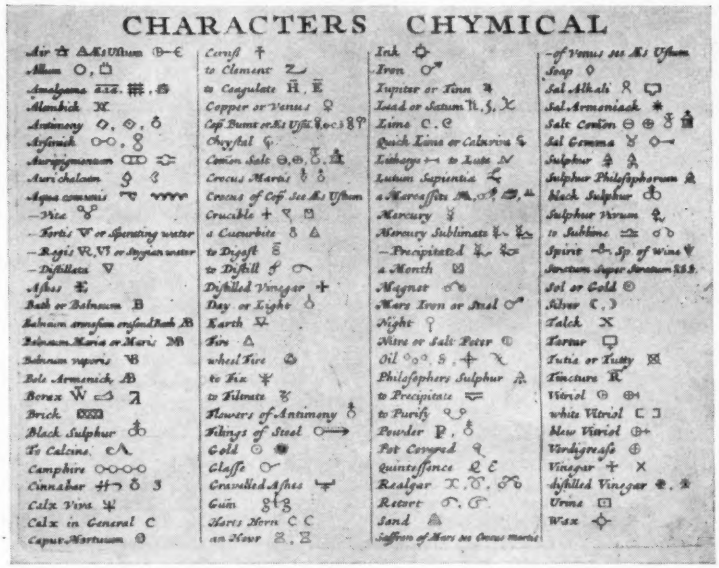


FIGURE 3 – *Tables des « caractères chimiques » ou symboles chimiques du* Lexicon *de* 1704. *Probablement le meilleur exemple d'une table de ce genre dans l'ancienne littérature chimique.*

Le *Lexicon* de 1704 contenait environ 8.200 articles dont 400 environ se rapportaient à la chimie, ce qui est une notable proportion étant donné le nombre des sujets traités dans le livre. Du mot *Elément* Harris dit:

> ÉLÉMENT, mot employé en général par les physiciens dans le même sens que *Principes* et ils entendent par éléments ou principes ou, comme ils les appellent quelque fois, par principes élémentaires d'un corps naturel ou mixte, les particules simples dont est composé le mélange et auxquelles il se réduit finalement.

Ceux-ci avaient été définis par Boyle en 1661 dans *The Sceptical Chymist* de 1661 comme « certains corps primitifs et simples ou non mélangés qui, n'étant pas composés d'autres corps, ou de l'un et l'autre, sont les ingrédients dont sont composés les corps que l'on appelle parfaitement mélangés et auxquels ils sont finalement réduits ». Elle devint plus tard celle de Lavoisier et est encore un des principes fondamentaux de la philosophie chimique.

Dans un article plus long, sur le mot *Principle*, Harris donne une bonne description des vues de Boyle et écrit:

> Et en chimie particulièrement on l'emploie pour désigner les premiers constituants et les particules composantes de tous les corps, celles dont ils sont faits et auxquel on peut les résoudre, comme l'on dit, par le feu. Ainsi le sel, le soufre et le mercure sont les trois principes chimiques célèbres, appelés *hypostatiques*, et les chimistes ont prétendu précédemment qu'ils pouvaient, grâce à leur art, réduire tous les corps naturels à ceux-ci, et qu'il était possible d'extraire ces principes à l'état simple, pur et non combiné des métaux, etc. Mais depuis que cet art a été plus généralement étudié et est, en conséquence, beaucoup mieux connu, on a trouvé que c'était une erreur, ainsi que l'a montré d'excellent façon *Boyle* dans son *Sceptical Chymist* et ainsi que le suggère *Lemery* en plusieurs endroits dans son bon ouvrage *Course of Chemistry*.

Boyle et Lemery étaient pour Harris les grandes autorités en chimie: ils étaient d'ailleurs les meilleurs de l'époque: trois versions anglaises du *Cours de Chimie* de Lemery avaient déjà paru et Harris prit sa table des « Caractères chimiques » ou symboles chimiques de l'ouvrage de Lemery.

Les vues modernes de Harris sont clairement démontrées par ce qu'il dit de l'alchimie. Sous le mot *Alchymist* il écrit:

> ALCHIMISTE: celui que étudie l'alchimie; c'est-à-dire cette partie plus subtile de la chimie qui traite de la *transmutation des métaux* et de la

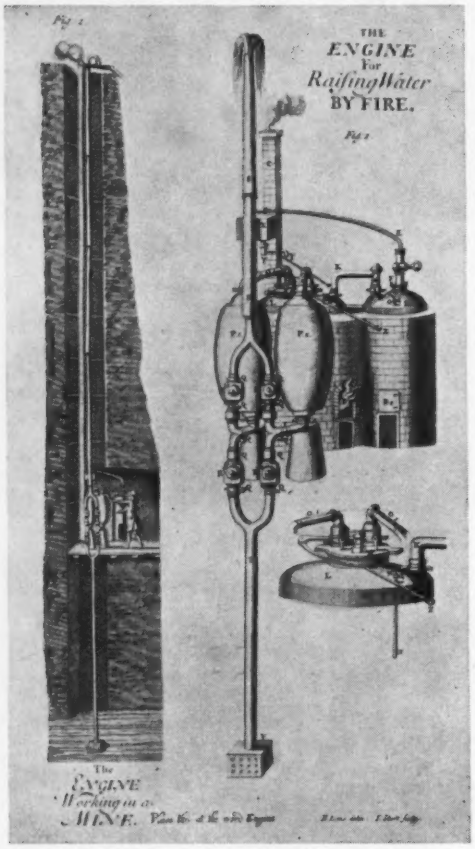


FIGURE 4 – *Schéma de la machine à vapeur de Savery, ou « Machine à pomper l'eau par le feu », extrait du* Lexicon *de* 1704. *Cette machine avait été décrite en premier lieu dans le* « Miner's Friend » (*L'Ami du Mineur*) *de Savery* (1702).

FIGURE 5 – *Microscope de Marshall d'après le* Lexicon *de Harris* (1704) *avec « un petit poisson étalé sur le plaque de verre afin de permettre l'examen de la circulation du sang dans une partie de la nageoire caudale en* (c) ».

pierre philosophale d'après le jargon des *adeptistes* qui amusent les ignorants et les gens sans discernement avec des mots difficiles et des absurdités: car s'il n'y avait pas la particule arabe *al* qui doit avoir des vertus merveilleuses dans ce cas, le mot ne signifierait rien de plus que *chimie*. . . . Cette étude de l'*alchimie* a été justement définie comme étant *Ars sine Arte, cujus principium est mentire, medium laborare, et finis mendicare:* c'est à dire: de l'art sans art, commençant par le mensonge, continuant par le travail et se terminant par la mendicité. Le pauvre *Penotus* en fit l'expérience, lui qui, après avoir passé toute sa vie et dépensé toute sa fortune à cette vaine étude, mourut finalement dans un asile d'indigents à *Yverdon*, en *Suisse*, et il avait coutume de dire qu'il recommenderait l'étude de l'alchimie à un ennemi mortel qu'il n'aurait pas le courage d'attaquer ouvertement.

Il dit ailleurs:

ADEPTISTES ou *adeptes:* les alchimistes qui prétendent avoir trouvé le secret de la *transmutation des métaux* ou celui de la fabrication de la *pierre philosophale*. Il y a toujours 12 de ces Personnages Invisibles et Mystiques en vie (disent-ils) et d'autres les remplacent chaque fois que l'un des membres de la Confrérie veut bien mourir ou se transporter en quelque lieu où il puisse faire usage de son Or, car dans ce misérable Monde il ne peut même pas leur procurer des Chemises.

Peut-être pouvons-nous regretter la perte de termes de chimie aussi pittoresques que « sang de salamandre », employé pour désigner les fumées rouges qui remplissent le récipient vers la fin de la distillation de « l'Esprit de Nitre », mais Harris n'a aucune indulgence pour eux: c'est un « Terme

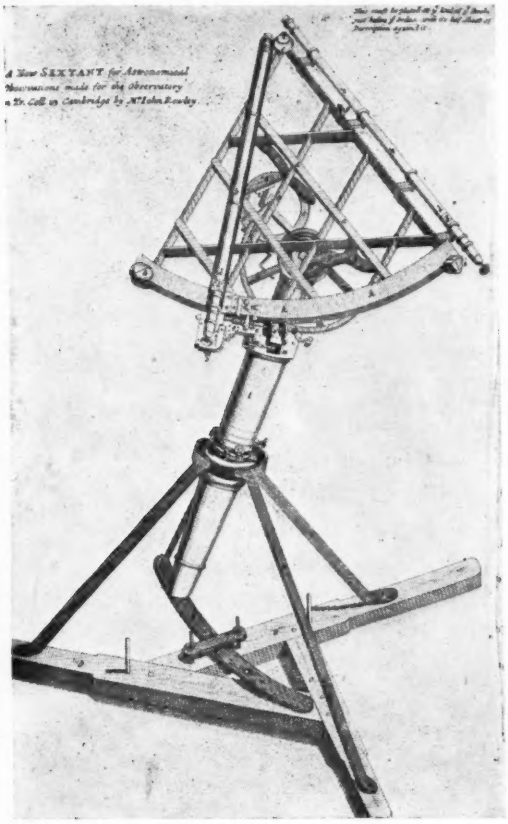


FIGURE 6 – *Sextant construit par Rowley pour l'observatoire de Trinity College, Cambridge, d'après le supplément* (1710) *au* Lexicon *de Harris.*

stupide». De même « Alkahest» est « l'un des termes du boniment des alchimistes». Quant à ce que l'on appelle « la poudre de sympathie», Harris écrit:

> La poudre sympathique n'est autre (dit Lemery) que du vitriol bleu ou vert désagrégé sous l'action des rayons du soleil qui l'ont pénétré et l'ont calciné imparfaitement: on expose généralement le vitriol à la chaleur solaire pendant le mois de *Juillet*, mais certains se contentent de la poudre de vitriol. Pour l'employer, ils étalent un peu de la poudre sur un linge de fil, trempé dans le sang d'une blessure, et ils prétendent que même si le tissu est à plusieurs milles du blessé, celui-ci sera quand même guéri: mais ceci est si loin de la vérité, en dépit des vantardises de Sir *Ken. Digby* et d'autres encore, qu'il n'aura pratiquement aucun effet même si l'opération est effectuée dans la chambre même où se trouve le malade, et celui qui ne veut employer d'autre moyen se fait certainement grand tort à lui-même.
>
> Les parties composantes du vitriol sont en mouvement perpétuel et il est probable qu'il s'en dégage beaucoup d'*effluves*, et il est possible que quelques-unes de celles-ci puissent pénétrer dans la blessure si l'application sur le tissu est effectuée à proximité du malade et aider à arrêter l'hémorragie, car le vitriol est un styptique connu, mais celui qui négligera tous les autres moyens et se fiera uniquement à celui-ci pourra payer cher sa crédulité.

Quant à la chaleur (qui se rattache toujours autant à chimie qu'à la physique) Harris dit qu'elle est « l'une des quatre qualités primaires» et qu'elle semble consister seulement, ou principalement, en un « mouvement localisé des parties de faibles dimensions d'un corps modifié mécaniquement par certains conditions dont la principale est l'agitation variée et véhémente de ces parties insensibles de faible dimension», et il souligne que les particules du corps doivent être agitées non seulement « véhémentement et rapidement», mais encore de façon telle que leurs « Déterminations», c'est à dire les directions de leurs mouvements, soient « *très diverses*, quelques-unes se déplaçant vers le haut, d'autres vers le bas, d'autres vers la droite, d'autres vers la gauche, etc.» On considérait aussi du temps de Harris que la chaleur consiste en particules de matière et cette opinion a subsisté presque jusqu'à nos jours, mais il ne le mentionne pas et il semble qu'il avait lui-même opté en faveur d'une théorie dynamique.

Harris, comme nous l'avons vu, avait pris comme modèle en chimie Boyle et Lemery et il avait également accepté les idées sur l'atomistique exprimées par Newton dans les « Queries», de son ouvrage *Opticks* dont il a été rendu compte antérieurement dans ce journal (Vol. I, 1942, p. 141–4). D'une façon générale, nous pouvons dire qu'un lecteur qui consulterait le *Lexicon* pour un renseignement de chimie trouverait amplement de quoi satisfaire sa curiosité. Les vues de Harris sont en avance sur les opinions de son époque et il regarde vers l'avenir.

Une grande partie de l'excellent travail de Harris passa dans les encyclopédies et, notamment, dans celle de Chambers. Avant la fin du siècle les diverses sciences eurent besoin de dictionnaires spécialisés remplaçant les lexiques universelles. Il est peut-être bon aujourd'hui de rappeler le travail de pionnier effectué dans ce domaine par John Harris, prêtre imprévoyant, mathématicien capable, écrivain à la tâche des libraires, sécretaire de la Royal Society pendant un certain temps, et auteur du premier lexique scientifique.

Nuages et paysages de nuages

C. J. P. CAVE

Les gens qui vivent dans un climat pluvieux ont tendance à employer le métaphore « un ciel sans nuages » pour indiquer un avenir parfaitement serein. Cependant, comme toute chose dans la nature, les nuages présentent une beauté et un intérêt qui leur sont propres. Dans une série de photographies originales remarquables, dont la plupart sont publiées ici pour la première fois, M. Cave nous montre les principaux types de nuages. Les images ainsi que le texte feront de beaucoup d'entre nous des admirateurs des nuages.

Bien peu de gens s'intéressent aux nuages; il faut un paysage nuageux très remarquable pour attirer quelque attention. Cependant, ils sont fascinants pour ceux qui les observent et, de plus, donnent des indications sur le temps à venir — indications utiles lorsque les prévisions météorologiques sont supprimées ou impossibles à obtenir.

On peut distinguer les nuages qui se produisent en couches horizontales, quelquefois continues, quelquefois morcelées, et les nuages présentant une épaisseur verticale plus grande, variant des petits cumulus des jours d'été aux masses dont les hauteurs rivalisent avec celles des montagnes les plus élevées. Les nuages sont composés de minuscules gouttes d'eau ou de minuscules cristaux de glace. Nous considérerons d'abord les couches horizontales, à l'altitude supérieure, les cirrus, composés de cristaux de glace. Ces nuages ont des formes très variés (figure 1) mais on peut toujours les distinguer des nuages de plus faible altitude parce qu'ils se composent de fils fins et de trainées. Leur altitude varie entre 7.000 et 10.000 m. L'aspect d'enchevêtrements étirés que prennent souvent ces nuages donne l'impression qu'ils sont balayés par le vent, mais il est loin d'en être toujours ainsi car les plus beaux types de cirrus se produisent par temps calme, lorsqu'il y a à peine de vent entre la terre et la stratosphère. Si l'on voit ces nuages se déplacer rapidement en venant de l'ouest ou du sud-ouest, il y a bien des chances que le temps se gâte. Un cirrus étalé en couche continue dans le ciel est désigné sous le nom de cirrostratus; il est souvent possible de voir le soleil à travers une couche nuageuse de ce genre ou d'observer un halo ou des parhélies, mais pas toujours. On trouve à une altitude un peu plus faible une autre couche de nuages, l'altostratus (figure 2). Ces deux couches ne sont pas toujours faciles à différencier, mais l'altostratus est plus épais et plus sombre; il ne présente pas les filaments du cirrus; le soleil peut luire au travers avec une apparence mouillée, ou bien il peut être complètement caché; on ne voit jamais de halo; ces nuages sont composés de gouttes d'eau et non de cristaux de glace. Une nappe de nuages venant de l'ouest peut être un cirrostratus à l'avant et un altostratus plus loin, à l'arrière. On peut noter combien la nappe nuageuse s'épaissit, comment le soleil s'efface et comment des masses de nuages sombres, détachées, se déplacent au-dessous de la nappe devenue continue (figure 2) et qui peut s'épaissir et s'assombrir encore jusqu'à constituer le nimbus informe, le ciel couvert et épais des journées et des nuits pluvieuses.

Tous ces nuages produisent des paysages sombres dans le ciel. A des hauteurs à peu près semblables, les cirrocumulus et les altocumulus en donnent de très différents. Ce sont les nuages qui produisent les plus beaux paysages célestes et les couchers et levers de soleil les plus spectaculaires. Ils forment des nappes morcelées en vagues, ondulations ou petits nuages que l'on a comparés à des troupeaux de moutons. Ils sont assez difficiles à distinguer les uns des autres; ils se fondent et ne diffèrent réellement que par l'altitude. Les véritables cirrocumulus présentent toujours quelques stries de cirrus parmi les ondulations et les petits nuages, et ceux-ci sont d'un blanc perlé, sans ombres (figures 3 et 4). Dans le cas des altocumulus on ne voit pas de filaments de cirrus parmi leurs petits nuages et leurs vagues, et celles-ci présentent généralement un certain nombre d'ombres (figures 5 et 6). Les cirrocumulus et les altocumulus sont quelquefois disposés en longues bandes (figure 7) venant souvent d'une direction nordique, d'où le nom de bande polaire.

A une altitude plus faible, on trouve le stratocumulus — parent pauvre de l'altocumulus. Il n'a rien de la majesté des nuages des régions supérieures, bien que, comme eux, il puisse être

FIGURE 1 – *Cirrus.*

FIGURE 2 – *Couche d'altostratus avec nuages sombres à un niveau inférieur.*

FIGURE 3 – *Ondulations de cirrocumulus.*

FIGURE 4 – *Vagues et ondulations de cirrocumulus.*

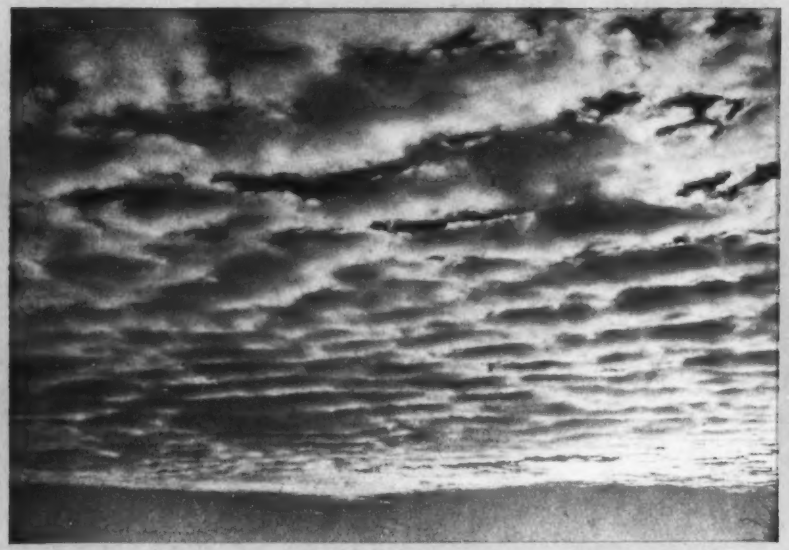


FIGURE 5 – *Vagues d'altocumulus.*

FIGURE 6 – *Petits nuages d'altocumulus.*

FIGURE 7 – *Fragment d'une bande polaire allongée.*

FIGURE 8 – *Stratocumulus, par temps calme, en automne.*

FIGURE 7 – *Fragment d'une bande polaire allongée.*

FIGURE 8 – *Stratocumulus, par temps calme, en automne.*

FIGURE 9 – *Petits cumulus, un jour d'été.*

FIGURE 10 – *Cumulus par un bel après-midi d'été.*

FIGURE 11 – *Cumulus très haut et grandissant, du genre qui peut se transformer en cumulonimbus.*

FIGURE 12 – *Cumulonimbus, nuage d'averse eloignée. Notez le sommet flou, le cirrus hybride.*

FIGURE 13 – *Cumulonimbus, un orage qui approche. Notez le sommet en forme d'enclumé.*

FIGURE 14 – *Stratus formant des bandes sombres en avant d'un nuage orageux éloigné.*

FIGURE 15 – *Nuage lenticulaire; notez les bords flous et ondulés.*

FIGURE 16 – *Nuage en tourelle très développé.*

morcelé en vagues, avec un peu de ciel bleu visible dans les intervalles. Par temps calme, en automne ou en hiver, il peut former une couche nuageuse presque continue (figure 8) qui persiste quelquefois plusieurs jours de suite. En été, en particulier, les stratocumulus peuvent se diviser ultérieurement et former des cumulus.

Le cumulus, comme l'indique son nom, est entassé en une épaisseur plus ou moins verticale: il est la manifestation visible des courants atmosphériques ascendants. Ils se forment au cours des beaux jours d'été (figure 9) et, après avoir augmenté de volume au cours de l'après-midi (figure 10), ils diminuent plus tard et disparaissent dans la soirée, mais dans des conditions favorables ils peuvent atteindre une très grande hauteur (figure 11). Si nous regardons le sommet d'un cumulus qui semble grossir rapidement, nous pourrons peut-être observer un changement. De rond et nettement découpé qu'il était, il peut devenir flou et fibreux (figure 12); les gouttes d'eau de la partie supérieure se sont congelées en minuscules cristaux qui sont entraînés vers le haut et vers l'extérieur par les courants ascendants auxquels est dû le nuage lui-même. Quand cette métamorphose se produit, le nuage devient un cumulonimbus; il est devenu un nuage d'averse, peut-être même un nuage d'orage. Un nuage très orageux peut avoir toute sa partie supérieure transformée en une masse que l'on désigne sous le nom de cirrus hybride, et cette transformation peut s'étendre aux côtés et donner à la partie supérieure du nuage la forme d'une enclume (figure 13). Par une chaude après-midi d'été, lorsque le temps est devenu orageux, on peut voir ces enclumes à l'horizon et se dire que chacune est le siège d'une averse ou, très probablement, d'un orage.

Par une journée orageuse normale, en été, les nuages perdent de la hauteur à la fin de la journée, les averses cessent, le dernier roulement de tonnerre s'éteint au loin et, à la tombée de la nuit, les nuages ont disparu. Mais, à la fin de l'été en particulier, il peut se trouver des conditions favorables au développement d'orages pendant la nuit lorsque se forment des masses considérables de cumulonimbus donnant naissance à des orages sur une grande étendue, avec production d'éclairs.

Telles sont les principales formes de nuages. Il y a plusieurs autres variétés de moindre importance, mais dont quelques-unes présentent beaucoup d'intérêt. Les stratus ont été comparés à des brouillards qui ne seraient pas en contact avec la terre. Ces nuages se produisent en masses détachés, à diverses altitudes; ils se terminent en pointes allongées et sont plus épais au milieu. Ils ont tendance à se former entre les montagnes ainsi qu'au voisinage de grands nuages d'orage et, dans ce cas, ils forment des lignes noires sur le blanc lumineux du fond (figure 14).

Les nuages lenticulaires sont un peu comme des stratus élevés; ils sont épais au centre et s'amincissent aux extrémités, celles-ci étant molles, changeant constamment, et souvent ondulées. Les nuages ont quelquefois la forme de lentilles et dans ce cas, vus de profil, ils ont l'aspect d'une lentille convexe examinée latéralement. Ils sont à une altitude élevée, généralement entre 4.500 et 6.000 m. Une observation attentive montrera qu'ils se dissolvent du côté sous le vent et se forment du côté au vent, de telle sorte que, bien qu'il puisse y avoir un fort vent à cette hauteur et que les particules de nuages voyagent avec celui-ci, le nuage lui-même reste stationnaire (figure 15).

Un autre type intéressant de nuage est le nuage en tourelle, ou alto cumulus castellatus. Dans ce cas les petits nuages de l'altocumulus sont étirés en ce qui ressemble à de petites têtes de cumulus à bords nettement découpés et l'on voit parfois une série de têtes semblables à des cumulus s'élevant d'une base plate (figure 16). Ces nuages donnent de très beaux effets, et ils sont importants parce qu'en été ils sont souvent précurseurs d'un temps orageux.

Les trainées de condensation sont des nuages artificiels formés généralement par des gaz chauds et humides, provenant de l'échappement d'un avion, et qui se mélangent dans l'atmosphère avec de l'air humide et très froid. Lorsqu'ils se forment, c'est en général à l'altitude des cirrus où des nuages naturels sont déjà en formation. Après un certain temps, la trainée de condensation peut s'étendre sur une grande étendue et devenir impossible à distinguer d'un cirrus ou d'un cirrostratus ordinaire, mais il semble toutefois que les nuages artificiels soient plus aptes à produire des parhélies ou des halos que les cirrostratus de formation naturelle.

La rhéologie: dynamique des liquides vrais

E. G. RICHARDSON

« Tout est flux » disait Héraclite, et pendant 2.200 ans le monde dut se contenter de cet aphorisme. Le déplacement des liquides fut étudié par Newton et c'est sur ses travaux que s'appuient encore nos conceptions fondamentales sur ce sujet. Dans les dernières années et, en particulier, sous la poussée des exigences du temps de guerre, on a effectué de nombreuses recherches sur la dynamique des liquides, et le docteur Richardson décrit dans le présent article la nouvelle science: la rhéologie.

Il est de notoriété générale que les notions fondamentales relatives au mouvement des liquides et à la résistance opposée aux solides dans un courant liquide ou gazeux nous ont été fournies par Newton. C'est Newton qui émit l'opinion que l'écoulement au-dessus d'une paroi solide est caractérisé par une variation de la vitesse, le liquide en contact avec la paroi étant au repos, tandis que les « couches » successives du liquide (en s'éloignant de la paroi) se déplacent avec des vitesses de plus en plus grandes, jusqu'à ce que la vitesse du courant libre soit atteinte.

Cette conception fut reprise beaucoup plus tard par Poiseuille pour y comparer le comportement des liquides soumis au cours de leur écoulement à l'action de forces de cisaillement. C'est à lui et à Hagen que l'on doit la définition du « coefficient de viscosité » comme étant la propriété d'un liquide établissant une relation entre la force de cisaillement et la valeur de la vitesse sur la paroi solide qui cause le cisaillement. Poiseuille étirait le liquide en le faisant passer à travers un tube étroit et — en s'appuyant sur la loi de Newton sur l'écoulement des liquides — établissait un rapport entre la vitesse moyenne d'écoulement à travers le tube, les dimensions du tube et la viscosité du liquide. Pour surmonter la résistance du tube au passage du liquide et, par conséquent, pour étirer le liquide, il est nécessaire d'exercer une certaine pression et une certaine énergie est dépensée dans la perte de charge entre les niveaux de liquide dans les deux réservoirs, reliés respectivement à chaque extrémité du tube.

Bien que Poiseuille n'ait pas cherché à mesurer comment la vitesse du liquide passait de sa valeur maximum à l'axe du tube jusqu'à zéro sur la paroi, il a établi théoriquement que c'était selon une fonction parabolique, c'est-à-dire que, passant des parois au centre, la vitesse devrait varier avec le carré de la distance aux parois. Dans la figure 1(*a*) la distribution de la vitesse à travers le tube est représentée par les longueurs respectives des flèches horizontales.

Dans certaines conditions on trouve même des solides qui présentent ce type d'écoulement décrit par Poiseuille. La figure 2 est la photographie de la section d'une billette cylindrique métallique

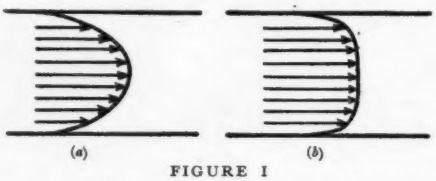


FIGURE 1

refoulée sous forte pression à travers une matrice. A l'origine la billette était cylindrique, mais elle avait été coupée en deux avant le refoulage et des raies horizontales avaient été peintes sur les surfaces planes ainsi exposées. Après réunion des deux moitiés, refoulage et re-séparation, on voit que les raies ont été déformées par passage au travers de l'orifice et donnent un dessin ressemblant beaucoup à la parabole de la figure 1(*a*).

Dans le cas d'un liquide obéissant à la loi de Newton, une augmentation de la pression ou du degré de cisaillement du liquide aura pour effet une *augmentation proportionnelle* de la vitesse avec laquelle le liquide passe dans le tube et de la variation de la vitesse à une section quelconque. En d'autres termes, la viscosité est un facteur constant, unique pour chaque liquide « Newtonien », bien que variant largement d'un liquide à l'autre. De nombreux liquides et gaz homogènes en ce sens que les moyens dont nous disposons ne nous permettent pas de déceler des propriétés différentes en divers points ou lorsqu'ils sont examinés sous des angles différents, obéissent aux lois simples de la viscosité; mais au cours des dernières années on a trouvé un nombre croissant de fluides présentant des coefficients de viscosité différents pour des vitesses de cisaillement

différentes. L'examen de ces cas montre que les liquides présentant cette anomalie, ou « liquides non-Newtoniens », sont hétérogènes; ils peuvent, par exemple, présenter des particules d'une nature différente flottant au sein du liquide (*sols*), ou posséder une structure telle que la masse soit liée sous forme d'un *gel* semi-solide.

Il est intéressant de penser que Poiseuille lui-même aurait pu se rendre à cette évidence. Il était médecin et s'intéressait au mécanisme par lequel le sang passe par les petits vaisseaux sanguins, ou capillaires, et il fit des expériences avec des solutions sanguines forcées à travers des tubes étroits. Le sang n'est pas un liquide homogène; des globules y flottent, mais leur concentration n'est pas suffisante pour causer une grande variation dans la viscosité pour des degrés de cisaillement différents.

On peut quelquefois déceler à l'œil nu l'existence de particules ambiantes ou une structure différente, mais les particules sont souvent trop petites pour être vues sans le secours d'un puissant

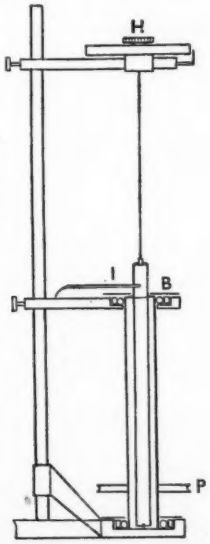


FIGURE 4

microscope, bien que l'hétérogénéité du liquide puisse être établie par sa propriété de disperser la lumière. Ceci fut démontré pour la première fois par Tyndall. Si l'on fait passer un rayon de lumière conique au travers de l'eau pure on ne peut le voir sur un fond sombre, mais si l'on fait passer ce même rayon au travers un *sol* ou un *gel* on peut suivre son passage grâce à la lumière dispersée (figure 3). Les liquides non-Newtoniens présentent cette propriété.

La figure 1(*b*) montre comment la vitesse d'écoulement d'un liquide non-Newtonien varie à l'intérieur du tube dans lequel il passe. La vitesse est presque constante à travers la majeure partie du tube et tombe rapidement aux parois. Bien qu'il soit très difficile de mesurer la vitesse à chaque point au travers d'un tube étroit, on peut

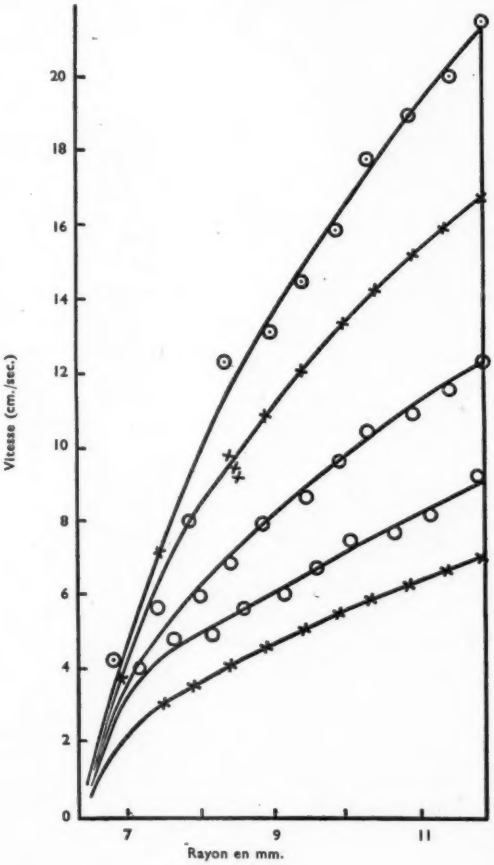


FIGURE 5

y parvenir si le liquide est contenu dans l'espace compris entre deux cylindres de même axe dont l'un — généralement le cylindre extérieur — tourne, tandis que le second est fixe. Le liquide se déplace suivant une série d'anneaux concentriques et est cisaillé en même temps. La figure 4 montre un schéma de l'appareil employé [1].

Le cylindre extérieur est maintenu en position verticale entre les coussinets B et peut être animé d'un mouvement de rotation à l'aide d'un moteur électrique, d'une courroie et d'une poulie P. Le cylindre intérieur est suspendu à l'aide d'un fil à une vis de torsion H et sa déviation, sous l'action

du cisaillement transmis par le liquide, est indiquée par le déplacement de l'aiguille I qui se déplace sur un cadran horizontal. Dans un liquide Newtonien, la vitesse du liquide à n'importe quelle distance du cylindre intérieur est proportionnelle à cette distance, de sorte que dans la figure 5 où la vitesse en un point est déterminée par rapport à la distance entre les cylindres, une ligne joignant ces points serait une droite allant de la vitesse de rotation du cylindre extérieur, à zero, au cylindre intérieur. Mais lorsqu'il s'agit de pâte d'argile comme dans le cas du graphique, on s'aperçoit que la vitesse tombe plus rapidement en donnant une ligne courbe vers le cylindre intérieur (les diverses courbes se rapportant à diverses vitesses de rotation du cylindre extérieur; il sera nécessaire de consulter la communication originale pour trouver des détails sur la méthode de mesure des vitesses d'un point à un autre [2]). On notera également que plus le cylindre extérieur tourne lentement, plus la vitesse générale dans la région intermédiaire devient constante, avec une chute plus rapide à la surface stationnaire du cylindre intérieur. Toutefois, pour des vitesses de rotation élevées du cylindre extérieur, la vitesse tombe régulièrement vers le cylindre intérieur, de la même façon que lorsque l'appareil contient un liquide Newtonien. La torsion exercée sur le cylindre intérieur est, en fait, une mesure de la pente de la vitesse à sa surface et même, si nous ne pouvons la mesurer directement nous pouvons la déduire de la torsion exercée sur ce cylindre et indiquée par la déviation de l'aiguille 1 (figure 4).

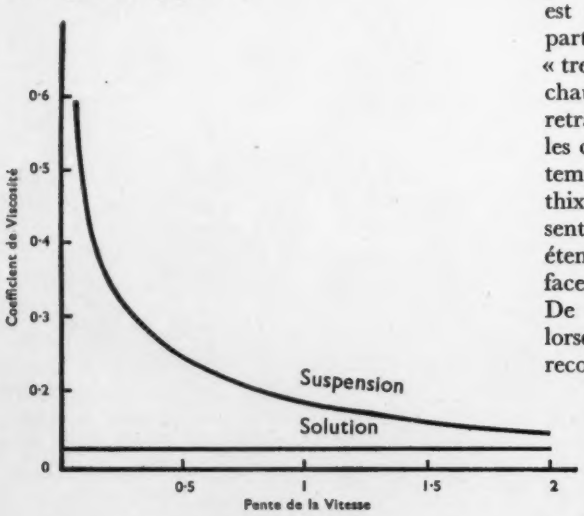


FIGURE 6

Si nous mettons alors un liquide homogène dans l'appareil, le rapport de la torsion à la vitesse de rotation du cylindre extérieur est une constante proportionnelle au coefficient de viscosité; mais avec un liquide non-Newtonien, le couple de torsion augmente rapidement au début (lorsque la vitesse du cylindre extérieur croît), puis plus lentement, de telle sorte que le rapport couple de torsion/vitesse de rotation (appelé *viscosité apparente*) diminue à mesure que le degré de cisaillement exercé sur le liquide décroît. Ceci est un caractère habituel de ces liquides anormaux et présente une importance technique considérable. La figure 6 montre comment la viscosité d'une suspension argileuse décroît lorsque la pente de vitesse augmente, tandis que dans l'eau elle reste constante.

Selon la loi de Newton, une solution homogène se déplace sous l'action du plus petit effort possible. La plus faible chute de pression le long d'un tube ou l'application de la plus petite action rotative sur le cylindre extérieur de la figure 4 suffit à mettre le liquide en mouvement. Mais quand la concentration de matières en suspension dans le liquide est élevée — lorsque l'on a affaire à une pâte assez épaisse — la substance supportera sans bouger l'action de faibles forces de cisaillement.

Le cas de la prise d'une solution de gélatine est intéressant: c'est celui d'un liquide non-Newtonien — le *sol* — acquérant une structure interne par abaissement de la température et devenant un *gel* qui présente en même temps une certaine plasticité et de l'élasticité. Ce dernier facteur est mis en évidence par le fait que la gelée, partiellement déplacée de sa position d'équilibre, « tremble » puis reprend son équilibre. Par chauffage, ou parfois par agitation, on peut retransformer le *gel* en *sol*. Un système présentant les caractères d'un *gel* au repos et qui devient — temporairement — un *sol* par agitation est appelé thixotropique. Une bonne peinture devrait présenter cette propriété de façon à pouvoir être étendue ou vaporisée régulièrement sur une surface et garder cette texture uniforme et ce brillant. De plus, bien qu'elle ait une viscosité élevée lorsque'elle sèche lentement sur la surface à recouvrir (ce qui produit un bon « fini »), elle doit présenter une faible viscosité au moment où elle est forcée dans le vaporisateur, à une vitesse éleveé, de façon que la perte d'énergie au bec du vaporisateur soit réduite à un minimum.

Si l'on force une solution de caoutchouc

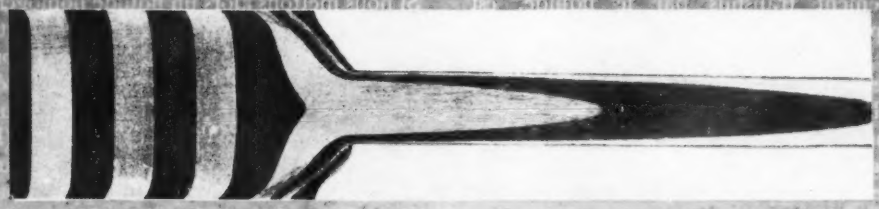


FIGURE 2 – *Photographie de la section d'une billette de métal forcée sous pression élevée à travers une matrice. Cylindrique à l'origine, la billette a été coupée en deux moitiés avant refoulage et des raies horizontales ont été peintes sur les surfaces planes exposées. Après réunion des deux moitiés, tréfilage et séparation, on voit que les raies ont été déformées en un dessin rappelant la parabole de la figure* 1(*a*).

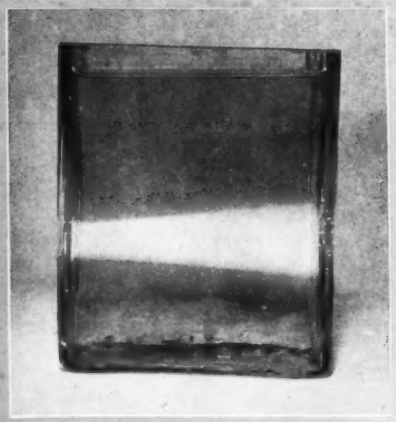


FIGURE 3 – *Trajet d'un rayon lumineux au travers d'un liquide hétérogène. Il est rendu visible par la dispersion causée par des particules minuscules en suspension dans le liquide.*

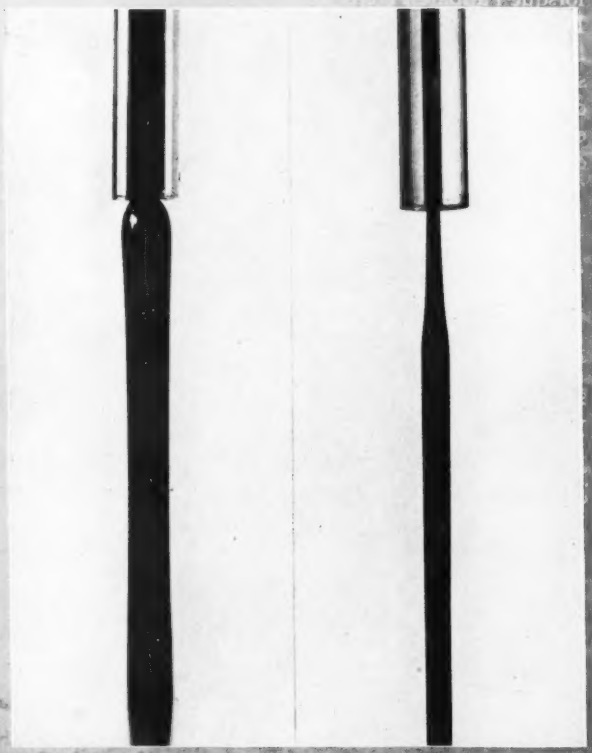


FIGURE 7 – *Elasticité en vrac. Une solution de caoutchouc dans le toluène est forcée dans un tube capillaire. On voit que lorsqu'il ressort, le liquide gonfle et atteint un diamètre supérieur à celui du tube. La pression employée pour forcer la solution dans le tube a, par conséquent, causé sa contraction à l'entrée.*

à travers un tube capillaire on constate qu'à la sortie du tube le liquide gonfle et atteint un diamètre supérieur à celui du tube [3] (figure 7). Il est évident que sous l'action de la pression nécessaire pour le forcer dans le tube il s'est contracté et s'est déchargé de cette compression à la sortie du tube.

On peut réaliser l'importance de cette propriété en faisant remarquer qu'en dehors des solutions de caoutchouc on a constaté que des substances aussi différentes que de la pâte à pain, du fromage, de la crême et des muscles d'animaux, présentaient ces effets d'élasticité après écoulement sous l'action de la compression.

L'élasticité présentée par ces liquides les rapproche du mode de comportement des solides car c'est d'abord à ceux-ci que l'on attribue une tension proportionnelle à la force appliquée (loi de Hooke). Toutefois dans le cas d'un solide vrai, cette relation est indépendante du temps, tandis qu'un liquide non-visqueux est incapable de supporter une tension à moins qu'il ne soit contenu dans un récipient hermétiquement clos. Mais si le liquide présente une certaine viscosité, a de la place pour s'écouler et est soumis à une force, cette force va se dépenser (par le mouvement du liquide) avec une vitesse que Clerk Maxwell suppose proportionnelle à la tension existant à chaque instant. De sorte qu'au moment de l'application de la force, la tension initiale relativement élevée a pour résultat un écoulement rapide qui diminue à mesure que la tension faiblit. Le facteur de proportionnalité est fonction du temps que met le liquide à se décharger de la force qui lui est appliquée. Maxwell a montré que cette « période de détente » devrait être égale au quotient du coefficient de viscosité par le module de rigidité.

Cette période de détente peut être mesurée à l'aide de l'appareil de la figure 4. Si l'on met, par exemple, une solution de caoutchouc dans le toluène dans l'espace compris entre les cylindres et que l'on fasse tourner le cylindre extérieur de 90°, puis qu'on l'immobilise, le cylindre intérieur suivra rapidement, décrivant un angle plus faible qui indique que le *sol* peut supporter au début le couple de torsion (mesuré par la différence angulaire de la position des deux cylindres). Il ne la supportera pas indéfiniment et après une déviation initiale rapide de 60°, par exemple, le cylindre intérieur prendra peu à peu une déviation (90°) égale à celle du cylindre extérieur. Si l'on a affaire à un liquide vrai, le cylindre intérieur prend immédiatement la déviation du cylindre extérieur. (On suppose que dans ces expériences le fil supportant le cylindre intérieur est long et n'exerce aucune résistance appréciable sur ses mouvements). Dans le cas de certains *sols* on constate la propriété de garder une faible déformation permanente qui laisse de façon durable le cylindre intérieur légèrement moins dévié que le cylindre extérieur.

Jusqu'à présent nous nous sommes occupés de systèmes dans lesquels un solide est « dissous » soit à l'état de solution vraie (« solution de caoutchouc »), soit à l'état de suspension (argile dans l'eau). Il existe une autre classe de liquides non-Newtoniens dans laquelle les deux phases sont des liquides. Ce sont les *émulsions* dans lesquelles un des liquides subsiste sous forme de globules au sein de l'autre qui constitue la phase continue; il y a encore les *mousses* dans lesquelles un gaz est dispersé dans un liquide sous forme de bulles. Toutes deux exigent la présence d'un agent émulsifiant (le savon en est un exemple courant) pour rester stables et ne pas se séparer en deux constituants distincts, l'un au-dessus de l'autre. L'action de tels agents est assez obscure, mais on pense qu'elle est basée sur la formation de gaines électrisées dont ils peuvent entourer les gouttes et les bulles. Quelle que soit la consistance de ces *sols*, qu'ils soient nettement liquides comme la mayonnaise ou la mousse des bains d'écume, ou solides comme la margarine ou le chocolat à texture spongieuse, ces systèmes présentent une importance industrielle considérable. Ils présentent tous par examen dans l'appareil à cylindres une viscosité qui décroît tandis que le degré de cisaillement croît. Dans le cas des émulsions plus épaisses, il y a une vitesse critique au-dessous de laquelle la substance ne s'écoule plus du tout. Au-dessous de cette vitesse, l'émulsion se comporte comme un solide, au-dessus comme un liquide dont la viscosité décroît rapidement à mesure que sa « structure » interne est détruite par l'effort de tension [4].

BIBLIOGRAPHIE

[1] RICHARDSON. *J. Agric. Science*, 1933, **23**, 176.

[2] RICHARDSON et TYLER. *Phys. Soc. Proc.* 1933, **44**, 142.

[3] MERRINGTON. *Nature*, 1943, **152**, 663.

[4] RICHARDSON. *Koll. Zeits.*, 1933, **65**, 32.

Pour une étude générale de la rhéologie du point de vue technique, le lecteur pourra se reporter au traité par Scott-Blair, *Introduction to Industrial Rheology*.

L'agar-agar

LILY NEWTON

L'agar-agar, substance gélatineuse extraite de certaines algues, est le milieu de culture bactériologique le plus important. Avant la guerre le Japon avait virtuellement le monopole de sa production, aussi les alliés eurent-ils, dès le début des hostilités, à résoudre le problème de l'obtention en quantité suffisante de cette substance indispensable. Plusieurs pays ont utilisé les algues indigènes. En Grande Bretagne, on a pu obtenir un produit satisfaisant. Le travail a été dirigé au point de vue botanique par le Professeur Lily Newton.

L'agar-agar est un produit commercial obtenu à partir de diverses algues rouges. Jusqu'en 1939 le Japon avait presque le monopole de sa fabrication bien qu'il ait été produit en moindres quantités dans d'autres pays. Les Etats-Unis en étaient producteurs, mais aussi importateurs. Il était produit en petites quantités en Russie, en Australie, en Nouvelle-Zélande, en Afrique du Sud, et sur les côtes de l'Océan Indien, particulièrement à Ceylan, en Birmanie, et en Malaisie. La guerre a changé cette situation et l'on a dû faire de grands efforts pour augmenter sa production.

Les algues qui fournissent la gélose sont des *Rhodophycées* de couleur rouge, dont les teintes varient du rose vif en eau profonde au brun rouge foncé dans les endroits plus exposés au soleil. Leurs plastides contiennent à côté de la chlorophylle, de la phycoérythrine, et parfois de la phycocyanine et de la phycoxanthine. Le produit d'assimilation est un polysaccharide solide, analogue à l'amidon et appelé amidon de Floride. La lame moyenne des parois cellulaires est gonflée et imprégnée d'une substance mucilagineuse qui, dans beacoup de cas, donne par hydrolyse des pentoses ou des produits voisins. Sauvageau a donné à la substance mucilagineuse le nom de gélose. C'est la matière première d'où l'on extrait commercialement l'agar-agar et les autres produits mucilagineux provenant des algues.

Les algues n'ont pas la même durée normale de vie, mais les qualificatifs habituels: annuelle, bisannuelle, et vivace, n'ont pas la même signification pour les algues que pour les plantes terrestres. Chez les algues annuelles les nouveaux individus proviennent uniquement de la germination des spores et les plantes n'existent sur les côtes que pendant une certaine période de l'année. Les algues bisannuelles produisent généralement un thalle la première année et se reproduisent au cours de la seconde année, bien que les périodes de croissance ne soient pas toujours saisonnières. Les algues vivaces vivent plusieurs années et se reproduisent par spores et aussi par prolifération à partir de certaines portions du thalle. La croissance peut être limitée à certaines saisons ou se continuer pendant toute l'année. L'apparition de conditions défavorables encourage la reproduction, et il faut donc tenir compte des périodes de croissance et de reproduction des algues avant d'en organiser la récolte.

Les algues ont été de tout temps employées en Orient comme aliments, comme engrais, et pour faire de la colle; puis plus tard comme source d'iode. Il semble que la découverte des curieuses propriétés de l'agar-agar ait été accidentelle [1].

Le montant des exportations d'agar-agar par le Japon avait augmenté considérablement de 1869 à 1902 [2]. En 1936 [3] on récolta douze mille tonnes d'algues, fournissant 2.549 tonnes de gélose, valant plus de 9 millions et demi de yens. La même année on en exportait une quantité équivalant à 5 millions et demi de yens.

La gélose se présente sous forme de feuilles poreuses transparentes, de blocs rectangulaires, de flocons, de paquets de rubans ou de poudre très fine. Elle varie considérablement en couleur et en qualité, la meilleure ayant à peu près la couleur de la gélatine.

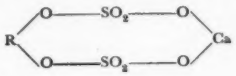
Avant la guerre actuelle, les qualités supérieures de gélose japonaise étaient extraites principalement de *Gelidium corneum* Lamour, et d'*Acanthopeltis japonica* Okam. Parmi les autres algues utilisées se trouvaient *Gelidium subcostatum* Okam., *Gelidium japonicum* (Harv.) Okam., *Gelidium pacificum* Okam., *Campylaephora hypnoides* J. Ag., *Bracilaria confercoides* Grev., et *Pterocladia capillacea* Born. et Thur. Les algues étaient ramassées à la main ou par bateaux. La récolte avait lieu de mai à fin juillet, mais la fabrication avait lieu en hiver. Le produit récolté était mis à sécher sur la plage jusqu'à blanchiment partiel au soleil. On pouvait alors l'emmagasiner momentanément. Par la

suite, on l'exposait à nouveau au soleil après l'avoir humecté d'eau douce, cette opération étant répétée jusqu'à blanchiment complet. Les algues se présentaient alors en nappes semblables à des paillassons que l'on faisait bouillir dans l'eau additionnée par la suite d'acide acétique dilué ou d'acide sulfurique encore plus dilué. On estime que cette dernière opération agirait soit en facilitant l'extraction des colloïdes des parois cellulaires, soit en précipitant les protéines et donnant ainsi un produit final plus limpide. Après filtration le résidu était bouilli à nouveau et le filtrat total mis dans des récipients plats en bois dans lesquels il se prenait en gelée. Il était ensuite congelé, soit en plein air pendant les nuits d'hiver, soit dans un frigidaire. Quand le produit était dégelé, l'eau s'écoulait, laissant un résidu de gélose à peu près pure.

Le produit manufacturé a reçu des noms variés, notamment ceux de: agar-agar, kanten, hai thao, agal-agal, mousse de Ceylan, colle de poisson végétale, japonaise ou chinoise, ou orientale, agar, ou gélose. Agar-agar est le nom malais d'une algue rouge, *Gracilaria lichenoides* Harv. L'application commerciale de ce nom à deux choses différentes, a produit une certaine confusion dans la littérature. Il désigne principalement le produit commercial obtenu à partir de diverses algues rouges, mais on l'applique également à des produits pharmaceutiques obtenus à partir d'algues rouges séchées et non traitées. « Kanten » signifie en japonais « ciel froid » et rappelle le fait que cette substance a été obtenue à l'origine par temps froid.

La littérature consacrée à la chimie de la gélose, met en évidence la grande variété obtenue dans les résultats, mais il faut reconnaître qu'il est très difficile d'arriver à un produit constant du point de vue analytique à partir d'un tel produit commercial. On sait qu'il existe des variations saisonnières dans la valeur du gel, la matière première n'est pas uniforme et les procédés de fabrication dépendent partiellement des conditions climatiques.

D'après Robertson [1], la gélose serait un galactane ou polysaccharide constitué par de nombreuses molécules de galactose rattachées les unes aux autres d'une façon qui semble analogue à celle des molécules de glucose dans la cellulose. La présence de petites quantités d'autres sucres complique le problème et elle est sans doute partiellement responsable du manque d'uniformité dans les résultats des analyses. La gélose renferme généralement 3 pour cent de soufre sous forme d'un sulfate organique, et une certaine proportion de calcium et de magnésium. L'union étroite de tous ces éléments suggère que la principale masse de molécules hydrocarbonées est combinée à l'acide sulfurique sous forme d'ester. L'un des deux groupements acides de l'acide sulfurique est estérifié, le second est libre et forme un sel de calcium selon la formule générale:



L'emploi par les japonais d'acide acétique, puis d'acide sulfurique, dans la préparation de la gélose peut produire une légère hydrolyse, ce qui expliquerait la légère infériorité du gel japonais par rapport à d'autres variétés.

Jones et Peat [4] considèrent que la gélose est un ester sulfurique d'un polygalactose linéaire, dont la chaîne est constituée par neufs restes de *d*-galactose combinés entre eux par des liaisons glucosidiques 1 : 3. Cette chaîne se termine à son extrémité réductrice par un reste de *l*-galactose, uni au reste de la chaîne par une liaison glucosidique en C_4 au lieu de C_3. Le *l*-galactose est estérifié en C_6 par l'acide sulfurique. Barry et Dillon [9] suggèrent qu'il existe une liaison 3 : 6 anhydrogalactose dans la molécule de gélose. Percival [10] donne une autre interprétation des résultats de Jones et Peat et de ceux de Barry et Dillon, il suggère que le groupe ester sulfurique peut être en C_3 et pas nécessairement en C_6.

Par ses propriétés physiques, la gélose constitue un excellent milieu de culture en bactériologie. C'est Mme Fannie E. Hesse qui l'utilisa pour la première fois dans ce but en 1881. La gélose n'est pas liquéfiée par de nombreux organismes qui liquéfient les milieux à la gélatine animale, et elle ne se déchire pas facilement quand on la strie avec une aiguille hypodermique. Elle reste liquide si on la refroidit jusqu'à 40° C, et une fois solidifiée elle reste à l'état de gel à 37° C. Elle passe facilement de l'état de sol à celui de gel et vice versa lorsqu'on la soumet à des changements de température. Elle forme une gelée ferme sans qu'il soit nécessaire de la réfrigérer. La gélose est également employée en mycologie et elle a récemment aidé aux recherches qui ont conduit à la production de la pénicilline sur une grande échelle.

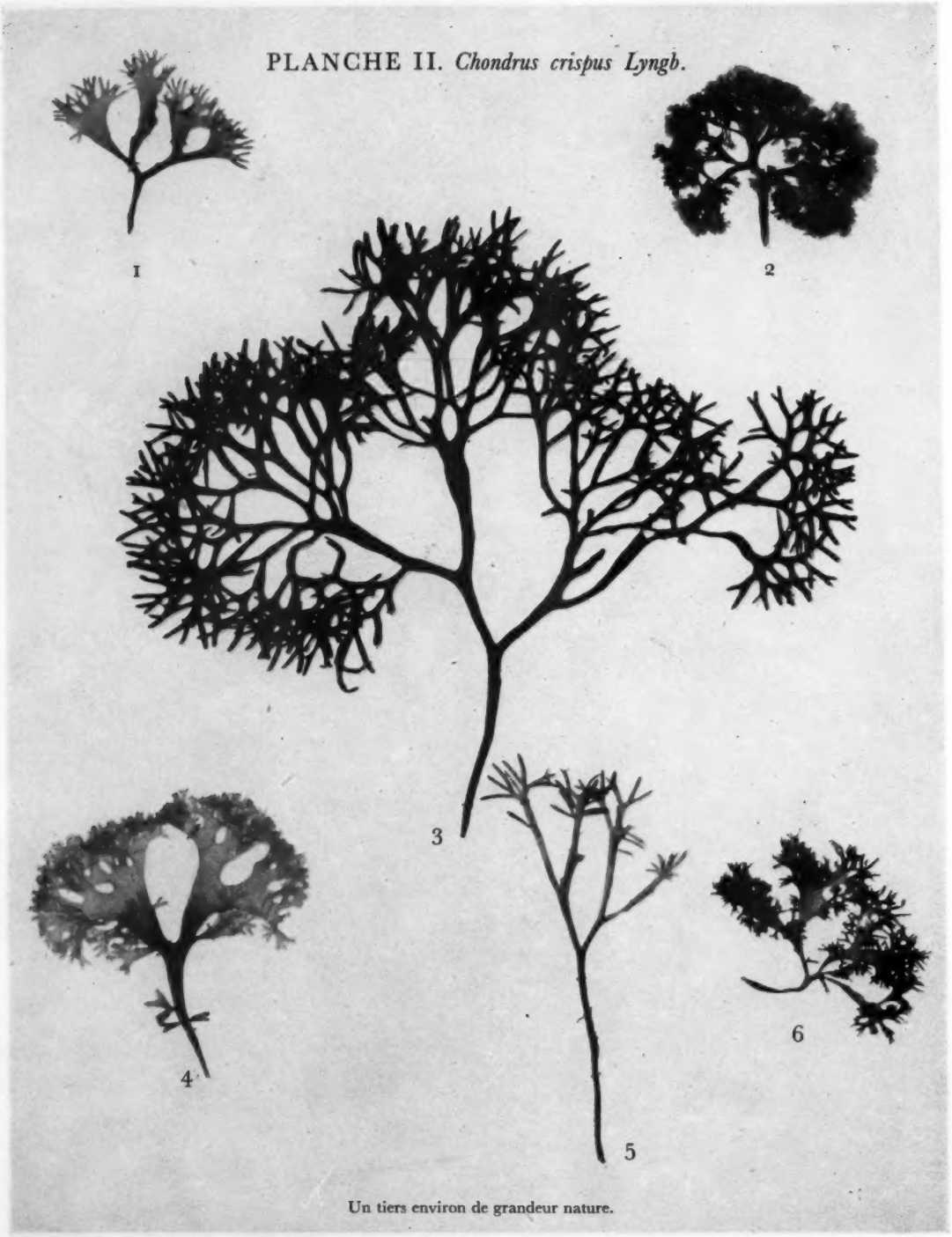
Grâce à ses propriétés physiques, y compris son état colloïdal, la gélose a trouvé des utilisations très variées en médecine et en pharmacie. Il n'est pas nécessaire de lui ajouter du sucre comme

PLANCHE I. *Gigartina stellata Batt.*

Un tiers environ de grandeur nature.

1, *Spécimen provenant de l'association Fucus vesiculosus. Août* 1942. *Aberayron, Comté de Cardigan.* 2. *Spécimen provenant de l'association Fucus vesiculosus. Juin* 1942. *Aberarth, Comté de Cardigan.* 3, *Spécimen provenant de l'association Fucus serratus. Août* 1942. *Llanon, Comté de Cardigan.* 4, *Spécimen de l'association Fucus serratus. Octobre* 1943. *Aberdaron, Presqu'île de Lleyn.* 5, *Spécimen provenant de l'association Gigartina. Avril* 1944. *Aberporth, Comté de Cardigan.* (*Ceci montre la croissance de l'extrémité des thalles au printemps.*)

PLANCHE II. *Chondrus crispus Lyngb.*



Un tiers environ de grandeur nature.

1 *et* 5, *Spécimens provenant de l'association Fucus serratus. Août* 1942. *Rhoscolyn, Anglesey.* 2, *Spécimen provenant d'une flaque à fond de galets près de la limite des grandes marées à Aberath, Comté de Cardigan. Juin* 1942. 3, *Spécimen provenant de la zone sublittorale. Octobre* 1944. *Aberystwyth, Comté de Cardigan.* 4, *Spécimen provenant des flaques à fond de galets de la zone des marées à Aberayron, Comté de Cardigan. Août* 1944. 6, *Spécimen provenant d'une flaque de rocher dans la zone des marées à Aberystwyth. Octobre* 1942.

à la pectine pour la faire prendre en gelée. On a restreint ses emplois en temps de guerre afin de la réserver pour des recherches essentielles. Mais en temps de paix elle était très employée dans le commerce. C'était un des constituants de l'émulsion huile de paraffine-agar, dans laquelle son action était mécanique. La gélose ne reste pas assez longtemps dans le milieu acide de l'estomac pour être hydrolysée, et elle ne subit aucune hydrolyse dans le milieu alcalin de l'intestin. On l'employait comme excipient de pilules, d'onguents, et comme succédané de la glycérine, et pour le pansement des plaies à cause de son action inhibitrice sur la coagulation du sang. Elle était employée pour la fabrication de matières plastiques destinées à prendre des empreintes dentaires, et l'industrie alimentaire en faisait un grand usage. Elle constituait une partie importante des aliments destinés aux diabétiques, et elle était largement employée dans la préparation des conserves de viande et de poisson, de ce dernier surtout, parce que la gelée ferme obtenue permettait le transport sans dommage des tissus mous du poisson cuit. Elle servait à épaissir les crèmes, les puddings, les glaces, les soupes, et certains plats de viande. Elle était également utilisée en confiserie, et dans les cosmétiques non gras, les teintures pour chaussures, et les lotions pour les mains. Dans l'industrie textile on l'employait comme apprêt pour les tissus et comme épaississant pour la teinture et l'impression, tandis que dans l'industrie du cuir elle était employée pour le finissage.

La gélose était un des constituants de diverses colles de bonne qualité et était utilisée dans la fabrication des bois contreplaqués. On l'employait sous forme de pellicules comme carreaux de fenêtre, et l'on a préparé des films photographiques par traitement de sa solution aqueuse par la formaldéhyde. Une épaisseur égale au huitième de celle des films de gélatine était suffisante. On l'a employée comme activateur de préparations de nicotine pour pulvérisations [5]. Une solution aqueuse à 1 / 500 triplait l'activité de la pulvérisation contre le puceron du pois, *Illinoia pisi*. Elle a l'inconvénient d'être difficile à mélanger à l'eau froide, mais on pourrait y remédier en employant de l'eau bouillante pour préparer la solution. On a également utilisé la gélose dans la galvanoplastie du plomb et l'encollage du papier.

La valeur nutritive de la gélose pour l'organisme humain est probablement très faible. Elle semble être à peine attaquée par les enzymes végétales, les sucs digestifs des animaux, ou les bactéries. Mais l'on a des raisons de croire que la gélose renferme pourtant certaines substances favorisant la croissance. Hoffman [3] rapporte que des animaux soumis à un régime purement synthétique présentèrent des anomalies de croissance qui disparurent aussitôt après l'addition au régime de 5 pour cent de gélose purifiée. Robbins [6] a remarqué les effets bienfaisants de la gélose sur la germination des spores et leur croissance, ainsi que sur la formation de gamètes et de zygotes chez le *Phycomyces Blakesleeanus*. Il trouva que l'on pouvait extraire partiellement par l'alcool méthylique dilué et plus complètement par la pyridine en solution aqueuse cette substance active de la gélose.

Une industrie de l'agar-agar s'est développée en Amérique sur une petite échelle depuis 1919, employant surtout *Gelidium cartilagineum* Gaill., *Gracilaria confervoides* Grev., *Gelidium corneum* Lamour, *Eucheuma spinosa*, et diverses espèces de *Gigartina*. Des plongeurs ramassent les algues soit à la main, soit à l'aide de râteaux à long manche. En 1930 on payait 180 dollars par tonne d'algues séchées à l'air, donnant environ un sixième de leur poids brut de gélose. Le problème de la main d'œuvre a toujours été grave et Robinson [1] attire l'attention sur le fait que la récolte « n'est pas un travail de dilettante, mais demande des hommes robustes, courageux, et extrêmement travailleurs, connaissant bien la mer ». Dans de bonnes conditions de travail un homme peut ramasser 500 kg d'algues fraîches par jour. On a remplacé la méthode japonaise de congélation par la méthode de la réfrigération contrôlée. Les solutions chaudes de gélose sont filtrées sous pression après avoir été traitées par le charbon de bois. Après congélation on purifie encore la gélose par un procédé de dialyse, et le produit commercial est d'excellente qualité, bien que certains prétendent qu'il est en apparence inférieur au Kobé No. 1, la meilleure gélose japonaise. En 1925, on produisit environ 360 tonnes de gélose, valant plus de 80.000 dollars. Après l'attaque de Pearl Harbour, le War Production Board ne permit plus l'emploi de la gélose que pour la préparation de milieux de culture bactériologiques, et par la suite on organisa des enquêtes destinées à repérer l'emplacement d'autres algues pouvant présenter une valeur commerciale. En 1943–44, on utilisa énormément *Gracilaria confervoides* Grev.

De nombreux pays ont augmenté leur production de gélose depuis 1939. En Nouvelle-Zélande

on a obtenu un produit satisfaisant à partir d'espèces locales de *Gelidium* et de *Pterocladia* [7]. En Afrique de Sud on a utilisé avec succès *Gelidium cartilagineum* Gaill., *Gracilaria confervoides* Grev., et *Suhria vittata* J. Ag. On a employé d'autres algues pour produire des qualités inférieures de gélose, mais la source la meilleure est probablement *Gracilaria confervoides* Grev. [8]. La consommation de l'Australie était avant la guerre de 70 tonnes de gélose par an, servant surtout à la préparation des conserves. Pendant la guerre on a utilisé *Gracilaria confervoides* Grev., et construit un appareillage approprié pour la récolter. Cette algue pousse sur un fond sableux et ne se récolte pas de la même façon que les algues de rochers. Deux firmes de Sydney produisent une bonne gélose et il est probable que l'Australie restera un concurrent sur le marché même en temps de paix.

On a fait un travail considérable de recherche en Russie pour obtenir de la gélose. On emploie *Phyllophora rubens* provenant de la Mer Noire, mais la gélose obtenue doit être à la concentration de 6 pour cent pour donner un gel. Cette proportion est plus grande que pour la gélose ordinaire. D'après Kizevetter [11] la Russie a produit environ 55 tonnes de gélose de première qualité à partir d'*Ahnfeltia*, et 200 tonnes d'« agaroïde» à partir de *Phyllophora*.

On sait que l'on a obtenu aux Indes et à Ceylan de la gélose à partir de *Gracilaria lichenoides* et de *Gracilaria confervoides*, récoltées au moment des moussons de sud-ouest. L'agar-agar de Ceylan ne contiendrait que 37 pour cent de gélose au lieu des 60 pour cent du produit japonais. A Java et à Macassar, on en produisait de petites quantités à partir d'*Eucheuma denticulatum* (Bur.) Collins. La Chine importait de grandes quantités de gélose du Japon, mais elle en produisait un peu à partir de *Gracilaria confervoides*.

La côte ouest de l'Irlande a été pendant de nombreuses années une source importante de *Chondrus crispus*, on a fait de nombreuses recherches sur l'écologie de cette algue et on l'a récoltée dans un but commercial. Le terme de « carragheen» sert à désigner soit *Chondrus crispus*, soit *Gigartina stellata*, soit un mélange des deux. Des recherches récentes ont montré que *Gelidium pulchellum* et *Gelidium latifolium* donnent une bonne gélose et qu'elles se trouvent en assez grande abondance sur les côtes irlandaises pour que leur exploitation soit profitable. On prétend [12] qu'une firme commerciale a commencé en 1944 la production de gélose sur une petite échelle.

En Grande Bretagne, dès le début des hostilités, le problème de la production d'un milieu bactériologique convenable s'était posé. Grâce à la prévoyance du gouvernement, il existait un certain stock d'agar-agar, mais il était nécessaire de connaître les possibilités de l'augmenter par la fabrication locale de gélose. A. P. Orr et S. M. Marshall, de la Station écossaise de biologie marine, à Millport, étudièrent dans ce but diverses algues. Ils trouvèrent que *Gigartina stellata*, ou un mélange de cette algue et de *Chondrus crispus*, donnaient une gélose dont le point de gélification et la fermeté se sont montrés entièrement satisfaisants pour son emploi en bactériologie. Une fois prise elle est plus transparente que le produit japonais et plus résistante à l'hydrolyse. L'Institut de botanique de l'University College du Pays de Galles, à Aberystwyth, a organisé en collaboration avec de nombreux algologues de différentes parties du pays, une étude de la côte dans le but de repérer l'emplacement des bancs utilisables. L'auto-écologie de ces plantes est encore en cours d'étude. On a restreint la récolte des algues et le gouvernement contrôle tout produit mucilagineux obtenu à partir des algues déjà mentionnées, ainsi que de sept autres genres. On connaît encore mal la biologie de *Gigartina*, et le travail de recherche cytologique et cultural est en cours.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Robertson, G. Ross. *Ind. Eng. Chem.*, 1930, **22**.

[2] Tressler, D. K. *Marine Products of Commerce*, New York, 1923.

[3] Hoffmann, Curt. Kieler Meeresforschungen III, 1939.

[4] Jones, W. G. M., et Peat, S. *J. Chem. Soc.*, 1942, **225**.

[5] Sharp, S. S. *J. Econ. Ent.*, 1939.

[6] Robbins, W. J. 'Growth Substances in Agar.' *Amer. J. Bot.*, 1939, **26**.

[7] Moore, L. B. 'The Economic Importance of Seaweeds.' Bull. 85. *D.S.I.R.*, New Zealand, 1941.

[8] Isaac, W. E. *et. al. Nature*, 1943, **151**.

[9] Barry, V. C., et Dillon, T. *Chem. and Ind.*, 1944, **63**, 167.

[10] Percival, E. G. V. *Nature*, 1944, **154**, 673.

[11] Kizevetter. *Bull. Pac. Sci., Fish and Oceanog.*, 1937, 13 Vladivostok.

[12] *Chemical Age*, 1944, **50**, 84.

Particules, ondes et formules chimiques

E. J. BOWEN

La relation fondamentale entre les éléments telle qu'elle est exprimée dans la loi périodique est restée longtemps sans interprétation satisfaisante. La physique moderne montre que les propriétés particulières de la loi: changements réguliers des valences et répétitions périodiques des propriétés chimiques découlent parfaitement de la géométrie du mouvement ondulatoire à trois dimensions. Cette théorie offre également la possibilité d'une explication quantitative de la relation entre la couleur et la constitution chimique.

Depuis des temps immémoriaux les chimistes ont considéré la matière comme composée de particules ou atomes et quand l'électron a été découvert on l'a également considéré comme une particule. On trouva qu'une liaison chimique simple entre deux atomes correspondait au partage d'une paire d'électrons, et la molécule d'hydrogène (H_2) par exemple, était représentée comme un système à 4 particules de deux noyaux d'hydrogène chargés positivement unis entre eux par 2 électrons associés constituant la liaison. D'autre part, le comportement des rayons lumineux dans les phénomènes de réfraction, de polarisation et d'interférence ne pouvait être expliqué qu'en considérant la lumière comme une forme de mouvement ondulatoire. La structure particulaire de la matière et la théorie ondulatoire de la lumière devinrent presque des axiomes en science. Depuis le début du siècle cependant, on avait découvert des phénomènes qui étaient en conflit avec cette simplicité apparente. Des courants d'électrons et d'atomes présentent des phénomènes d'interférence quand ils sont réfléchis par des surfaces cristallines; ceci ne peut être expliqué que si on les considère comme des ondes, tandis que pour expliquer l'effet photo-électrique il semble nécessaire de considérer la lumière comme un courant de particules. On explique actuellement cette situation contradictoire en considérant la matière et la radiation comme des « doubles personalités », chacune ayant les propriétés des « ondes » et des « particules », et en reconnaissant que les notions de « particules » et d'« ondes » se complètent l'une l'autre. Il faut tout d'abord se faire une idée claire de ce que l'on entend par particule et par onde. Ce sont des conceptions abstraites dérivées de notions concrètes telles qu'un grain de plomb ou une vague. En idéalisant suffisamment les particules et les ondes réelles nous arrivons à concevoir une particule comme quelque chose possédant un moment mv et une énergie $\frac{1}{2}mv^2$ (m = masse, v = vitesse), tandis qu'une onde est caractérisée par une longueur (longueur d'onde), et par une durée (période ondulatoire). Puisque l'on mesure matière et lumière à l'aide d'autres matières ou d'autres lumières il se produit une action réciproque entre la chose qui mesure et celle qu'on mesure, de sorte que si nous cherchons à faire une mesure avec trop de précision, il en résulte un déplacement correspondant du système. Le principe de ce phénomène a été découvert par Heisenberg: $\triangle$ (*attribut de la particule*) $\times$ $\triangle$ (*attribut de l'onde*) = $\boldsymbol{h}/2\pi = 10^{-27}$ unités c.g.s., $\boldsymbol{h}$ étant la constante de Planck et $\triangle$ réprésentant les erreurs de mesure

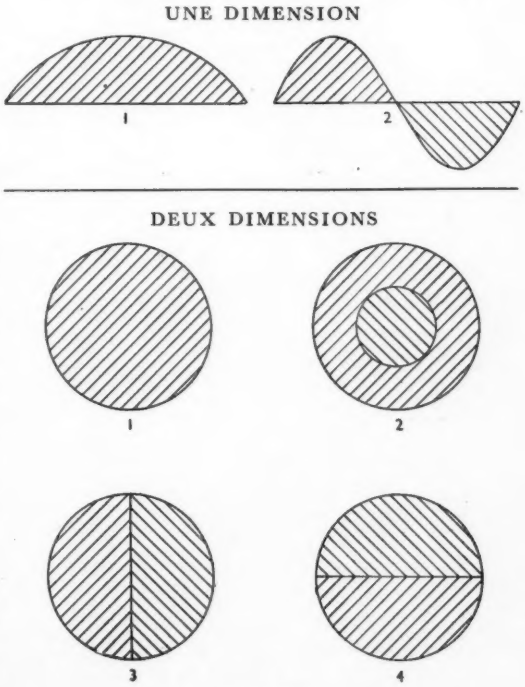


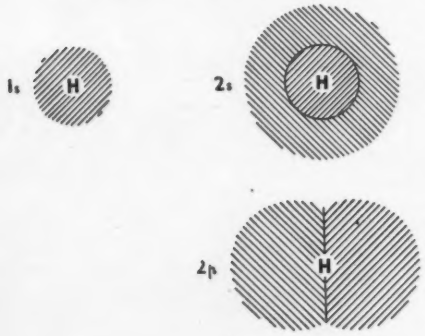
FIGURE I

dues à l'action réciproque de l'appareil de mesure et de la chose mesurée. L'attribut de la particule *quantité de mouvement* est associé dans l'équation ci-dessus avec l'attribut de l'onde *longueur;* l'*énergie* et la *durée* peuvent être associées de la même façon.

Considérons maintenant la portée de ce principe appliqué à la matière de dimensions atomiques, en imaginant un électron enfermé dans une boite et animé d'un mouvement de va-et-vient entre ses rencontres avec les parois. Si la boite est grande, *l* n'est pas spécifié de façon très précise; par conséquent il sera possible de mesurer exactement la quantité de mouvement; l'électron a nettement les propriétés d'une « particule ». Mais pour une boite ayant une larguer de quelques A seulement, le fait même que la longueur soit spécifiée si étroitement signifie que la quantité de mouvement devient vague. La conception de « particule » cesse alors d'être applicable et l'électron doit être considéré comme une « onde ». Si son mouvement ne subit pas de modification c'est une « onde stationnaire », c'est-à-dire une onde ayant des noeuds fixes sur les parois. Ses valeurs d'énergie ne peuvent être que celles données par la formule: énergie $= \frac{n^2h^2}{8ma^2}$ dans laquelle m est la masse de l'électron, a la largeur de la boite et n un nombre entier. L'énergie la plus faible obtenue en prenant $n = 1$ correspond à une onde ayant des nœuds sur les parois comme la corde tendue entre 2 points représentée sur la figure 1,1. Pour $n = 2$ le mouvement ondulatoire est analogue à l'harmonique représentée sur la figure 1,2, et pour les valeurs plus élevées de n le mouvement est représenté par des ondes ayant un nombre croissant de nœuds entre les parois. Si nous cherchons à pénétrer plus profondément la « signification » de cette application de la théorie ondulatoire au mouvement des particules nous trouvons la suivante: par suite du principe de Heisenberg, aucune mesure physique ne nous permet de spécifier *exactement* la position d'une particule à un moment donné de son mouvement; nous ne pouvons qu'estimer la probabilité qu'elle se trouve en une position particulière. L'hypothèse du « mouvement ondulatoire » est la représentation mathématique de ces probabilités; le carré de l'amplitude de l'onde en un point quelconque donne la probabilité que l'électron se trouve en ce point au moment où l'on effectue la mesure.

Deux points fondamentaux sont restés longtemps sans interprétation: ce sont, en physique, la quantization de l'énergie, et en chimie, les relations entre les éléments telles que les représente la loi de périodicité. La mécanique ondulatoire a contribué largement à les clarifier. La quantization de l'énergie, ou le fait que l'énergie des atomes et des molécules est confinée à certains groupes de valeurs, découle naturellement de la théorie ondulatoire. Les ondes stationnaires (ondes à nœuds fixes) sont les seules possibles et elles sont limitées à l'onde fondamentale et à ses harmoniques supérieures. Chaque « onde » correspond à un « état d'énergie », et les énergies intermédiaires ne sont pas des valeurs stables. Les particularités de la loi périodique avec ses changements de valence d'une extrémité à l'autre de la Table et la répétition des propriétés chimiques dans la série d'éléments, découlent parfaitement

ORBITALES DE L'ATOME D'HYDROGÈNE DANS LES TROIS DIMENSIONS



ORBITALES DE LA MOLÉCULE D'HYDROGÈNE

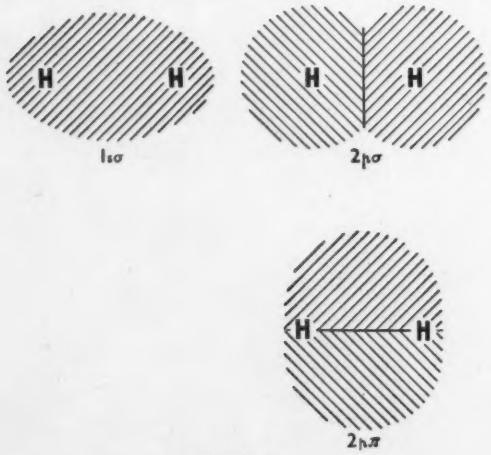


FIGURE 2

de la géométrie du mouvement ondulatoire à trois dimensions.

Pour l'application qualitative de ces idées aux atomes et aux molécules il est nécessaire avant tout de se représenter le mouvement ondulatoire dans l'espace. La vibration à une dimension d'une corde est représentée sur la figure 1 par l'onde fondamentale et sa première harmonique (les parties hachurées représentent les phases opposées de la vibration). Le mouvement d'une peau de tambour nous donne les deux dimensions. Le 1er schéma représente l'onde fondamentale et le 2ème la 1ère harmonique avec un nœud circulaire, la portion centrale s'élevant tandis que la région périphérique s'abaisse. Les schémas 3 et 4 représentent deux harmoniques d'un type différent, ayant un nœud linéaire, une moitié de la membrane s'élevant tandis que l'autre s'abaisse. Ces deux types d'harmoniques nous préparent à la représentation des ondes à trois dimensions tel que l'électron d'un atome d'hydrogène (figure 2). L'onde fondamentale, c'est-à-dire l'état d'énergie la plus faible, est une vibration sphérique comparable aux compressions et décompressions rapides produites au voisinage d'un point d'un solide élastique. Le seul nœud est à l'infini mais l'amplitude décroit pratiquement jusqu'à zéro à une faible distance du noyau de l'atome. L'électron est désigné pas 1*s*, 1 donnant le nombre de nœuds et *s* figurant la symétrie sphérique de l'onde. Puisque le carré de l'amplitude est aussi de forme sphérique les probabilités que l'électron se trouve dans une direction quelconque à une distance déterminée du noyau sont égales. On ne peut pas le localiser avec plus de précision. A un état d'énergie plus élevée on trouve l'harmonique 2*s*, avec un nœud sphérique séparant les régions de phases opposées. Les trois vibrations 2*p* correspondant aux types de mouvement 3 et 4 du tambour sont à angle droit l'une par rapport à l'autre, chacune ayant un nœud plan le séparant des vibrations opposées. Dans ce cas on peut trouver l'électron de chaque côté du plan nodal mais pas dans le plan.

Ces types de vibrations remplacent les « orbites » postulées originellement par Bohr et sont en conséquence appellées par analogie « orbitales ». Un principe fondamental dû à Pauli gouverne le comportement des électrons par rapport aux orbitales. L'expérience montre que les ondes électroniques possèdent une sorte de polarisation magnétique appelée « spin ». Nous pouvons considérer le noyau atomique avec son champ de forces comme étant entouré par des « orbitales » potentielles de même qu'une cloche au repos peut être considérée comme possédant potentiellement des tons et des harmoniques. D'après le principe de Pauli il y aura jusqu'à deux électrons dans chaque orbitale mais s'il y en a deux, leurs « spins » doivent être opposés. L'atome d'hélium a des orbitales semblables à ceux de l'atome d'hydrogène; à son état de plus faible énergie il a deux électrons de « spins accouplés » dans une orbitale 1*s*. Le « spin » couplé explique son manque de réactivité chimique. L'atome de lithium à l'état normal a deux électrons de « spin » couplé dans l'orbitale 1*s*, tandis que le troisième peut être représenté par l'orbitale 2*s*. Les éléments supérieurs ont des électrons dans les trois orbitales 2*p* et ainsi de suite jusqu'à ce que nous ayons deux électrons dans chacun des 2*s* et 2*p* arrivant à un total de huit en tout dans la couche du quantum numéro 2: nous arrivons au néon. L'élément suivant, le sodium, doit avoir son électron additionel dans l'orbitale 3*s* et il est par conséquent semblable spectroscopiquement et chimiquement

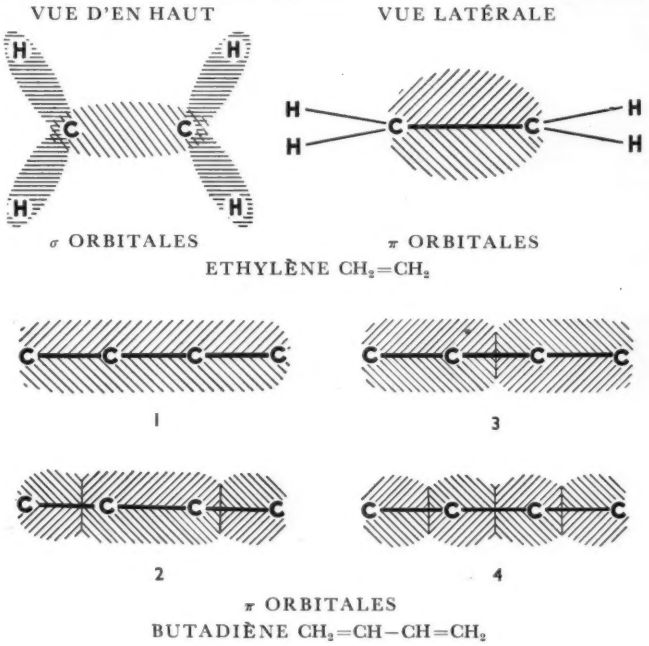
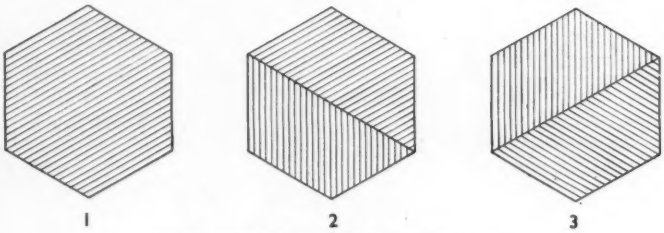


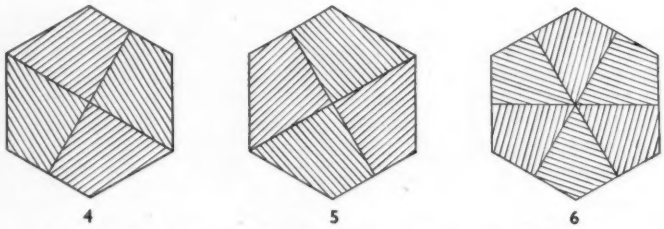
FIGURE 3

au lithium. Plus haut dans la Table, on comprend facilement la complexité des éléments transitionnels et des métaux du groupe des terres rares grâce à la géometrie plus compliquée des harmoniques supérieures du mouvement ondulatoire.

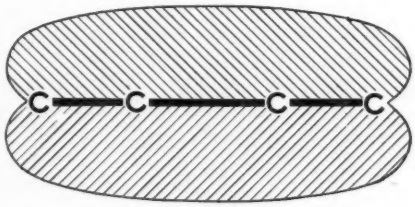
Le calcul exact des « formes » des « orbitales » moléculaires, et de là (en élevant au carré) des courbes de « densité d'électrons », est très difficile mais on peut se rendre compte de leur nature générale par des considérations de symétrie. L'orbitale de la plus faible énergie de la molécule diatomique H_2 a une forme quelque peu ellipsoïdale, symétrique par rapport à l'axe moléculaire (figure 2) et elle est représentée par $1s\sigma$ ou σ_g à cause de sa ressemblance avec l'orbitale $1s$ de l'atome H. Les plus grandes orbitales vers lesquelles se dirige un électron quand on donne à la molécule de l'énergie électronique sont représentées par $2p\sigma$ ou σ_u, avec un plan nodal formant un angle droit avec l'axe moléculaire, et par $2p\pi$ ou π_u avec le plan nodal dans l'axe moléculaire (figure 2). Il est nécessaire de se représenter les aspects particuliers de ces orbitales pour comprendre l'extension de la conception ondulatoire à la chimie organique. Une orbitale σ_g a la forme d'une saucisse s'étendant le long de l'axe moléculaire et correspondant à la liaison chimique ordinaire ou à simple liaison H–H, ou selon la notation de « particule » électronique (Lewis-Langmuir), H : H. Dans l'orbitale σ_u les deux moitiés de la molécule sont à des phases différentes, un ou deux électrons occupant des orbitales de ce type sont « anti-liaison », c'est-à-dire plus répulsifs qu'attractifs pour les noyaux atomiques. L'orbitale π_u a la forme d'un petit pain rond qu'on aurait coupé par le milieu pour le beurrer. Les deux moitiés sont à des phases opposées et la couche de beurre est un plan nodal dans lequel se trouvent les noyaux atomiques. Un autre type d'orbitale π_g, a un autre plan nodal à angle droit avec l'axe moléculaire et par conséquent c'est aussi une orbitale « anti-liaison » comme σ_u.



VUES EN PLAN DES ANNEAUX



VUE DE FACE DES ANNEAUX POUR ORBITALES



π ORBITALES DU BENZÈNE C_6H_6

FIGURE 4

Nous pouvons maintenant nous occuper de l'atome normal quadrivalent du carbone. Cet atome a six électrons. Deux (à spins couplés) occupent une orbitale $1s$. Les quatre autres doivent occuper des orbitales plus élevées et plus grandes. Si l'orbitale $2s$ et chacune des orbitales mutuellement perpendiculaires $2p$ ont chacune un électron nous obtenons un atome avec quatre « valences libres » mais pas toutes égales entre elles ni disposées en tétraèdre. Considérons cependant l'action réciproque de cet atome et de quatre atomes d'hydrogène $1s$ donnant la molécule de méthane. Un atome d'hydrogène peut s'unir avec l'électron $2s$ du carbone pour donner une orbitale du type σ_g mais la combinaison des trois atomes d'hydrogène $1s$ restants avec les deux électrons $2p$ du carbone ne peut pas être simple. Si la partie hydrogène de l'orbitale est en phase avec une moitié de la partie carbone, elle doit être en opposition de phase avec l'autre et la liaison sera

en partie σ_g (attraction) et en partie σ_u (répulsion) Des calculs approximatifs d'après la théorie ondulatoire montrent que pour produire un système d'énergie minimum il faut une réorganisation complète des vibrations par laquelle toutes les liaisons C–H deviennent équivalentes et disposées en tétraèdre, les orbitales de liaison étant essentiellement de caractère σ_g (en forme de saucisse et dirigées selon C–H) avec une trace de σ_u représentée par une petite surface de phase opposée sur l'atome de carbone éloigné de celui d'hydrogène). Ce type d'orbitale de caractère essentiellement σ_g représente la « simple liaison » de chimie organique comme dans le méthane ou le diamant.

La structure du graphite donnée par l'examen aux rayons X nous montre une réorganisation différente des orbitales quand un atome de carbone se combine à d'autres atomes. Dans ce cas nous trouvons trois simples liaisons (de type σ_g) situées dans un plan, à 120° les unes des autres et l'électron restant dans chaque atome de carbone est essentiellement une orbitale *p* avec son plan nodal constituant le plan des simples liasons. Dans le graphite ces électrons *p* qui sont moins fortement liés ont des orbitales qui se chevauchent dans les espaces compris entre les couches d'atomes de carbone et forment une orbitale π, et c'est à eux que sont dûs la coupure facile, la conductivité élevée et la puissante absorption lumineuse qui sont toutes de nature hautement directrices dans les plans situés entre les couches. Les chimistes croient maintenant qu'une « double liaison » en chimie organique n'est pas équivalente à deux simples liaisons mais à une liaison de type σ_g et une de type π. Ces deux sortes d'orbitales sont représentées pour l'éthylène dans la figure 3. Toutes les liaisons C–H et une liaison C–C se trouvent dans le même plan à 120° les unes des autres et ce plan est le plan nodal de l'orbitale π de la seconde liaison C–C. Les deux électrons dans l'orbitale π existent dans les deux régions situées l'une au-dessus, l'autre au-dessous de ce plan et empêchent la «rotation autour de la double liaison». Dans la molécule normale d'éthylène les deux électrons sont dans une orbitale π_u tandis que dans la molécule excitée par les rayons ultra-violets un électron passe à une orbitale π_g, affaiblissant la liaison.

La figure 3 montre aussi quelques orbitales du butadiène. Les quatre électrons laissés de côté après que l'on a construit le squelette moléculaire à « simple liaison » doivent rentrer dans les orbitales de type π avec un plan nodal contenant les atomes de carbone. Les orbitales 1 et 2 ont l'énergie la plus faible; c'est pourquoi dans la molécule normale la distribution spatiale d'une paire d'électrons (spins couplés) est représentée par le carré des « vibrations » trouvées dans l'orbitale 1 et la seconde paire (également spins couplés) est représentée de la même façon par l'orbitale 2. Ceci explique la nature « conjuguée » de la molécule, c'est-à-dire son faible degré de non-saturation et le caractère partiel de « double liaison » de la liaison C–C. La représentation ondulatoire diffère de la formule chimique $CH_2 = CH - CH = CH_2$ parce que l'on admet que les électrons se meuvent dans des orbitales qui peuvent s'étendre bien au-delà de la liaison C–C. Pour que ceci soit possible une molécule doit avoir des doubles liaisons alternant avec des simples liaisons.

La figure 4 montre les orbitales π de la molécule de benzène. Les électrons de « l'hexagone aromatique » occupent deux par deux les orbitales 1, 2 et 3. La distribution de ces électrons (carré de la vibration de l'onde) a la forme d'un nuage situé de chaque côté de l'anneau carboné ayant entre elles les liaisons σ C–C. Les orbitales 2 et 3 ont un plan nodal en plus de celui de l'anneau: la « densité électronique » totale des électrons π obtenue en additionnant celles des trois paires d'électrons a une symétrie hexagonale parfaite.

Sauf dans les cas les plus simples, le traitement mathématique des orbitales atomiques et moléculaires est extrêmement difficile. L'équation différentielle fondamentale servant de base à la mécanique ondulatoire quantitative, ne peut être résolue rigoureusement que pour les systèmes H, He, et H_2. Dans les autres cas, la difficulté réside dans la complexité des champs de force maintenant les électrons aux noyaux.

BIBLIOGRAPHIE

LENNARD-JONES et COULSON. *Trans. Faraday Soc.*, 1939, **35**, 811.

COULSON. *Proc. roy. Soc. Edinb.*, 1942, 115.

HÜCKEL. *Z. Elektrochem.*, 1937, **43**, 752, 827.

FORSTER. *Ibid.*, 1939, **45**, 548.

Reports on Progress in Physics, 1941, **8**, 231.

Review of Modern Physics, 1941, **13**, 75; 1942, **14**, 224–340.

Annual Reports of the Chemical Society, 1943, **40**, 12.

Revue des livres

LA ROYAL SOCIETY DE LONDRES

The Royal Society, 1660–1940. A History of its Administration and its Charters, *par Sir Henry Lyons. Pp x + 354. University Press, Cambridge.* 1944. 25*s. net.*

Pendant la première moitié du XVIIème siècle en Angleterre, les méthodes de la philosophie nouvelle dite « philosophie expérimentale », furent appliquées par un petit groupe d'hommes instruits à des investigations variées sur les phénomènes naturels, entreprise que Francis Bacon avait préconisée. Quand la monarchie fut restaurée en 1660, ce groupe résolut de constituer un « Société de Philosophes » et au début de l'année suivante, le roi Charles II permettait à la société projetée de prendre le titre de « Royal Society ». La Société fut enregistrée par charte royale en Juillet 1662. Dix mois plus tard, une charte amendée, et qui accordait à la Société de nouveaux privilèges était scellée du Grand Sceau; c'est par cette dernière que la Société est règlementée depuis cette époque.

Le premier article définit les motifs et l'intention des Lettres patentes ainsi octroyées pour encourager les études philosophiques « particulièrement celles dont le but est, soit de fonder une nouvelle philosophie, soit de parfaire l'ancienne, en partant d'expériences concrètes ». Dans cette seconde Charte, le nom de la Société était changé de « Royal Society » en « Royal Society of London for improving Natural Knowledge ». Cette addition au nom de la Société était voulue et soulignait la nécessité de faire des observations et des expériences pour découvrir et vérifier les lois naturelles, sans se référer à une intervention surnaturelle ou à la superstition.

Sir Henry Lyons décrit le développement de la Société au cours de son existence, en portant particulièrement son attention sur le côté administratif. De la fondation jusqu'en 1830, un tiers seulement des membres pouvaient être considérés comme engagés dans l'étude des sciences naturelles, les deux autres tiers ayant été élus pour des raisons sociales ou financières. Un chapitre est consacré à « La révolte scientifique: 1820–60 », époque où le système fut modifié si bien qu'en 1860 les membres scientifiques étaient plus nombreux que leurs collègues, pour la première fois depuis la fondation. Ceci marquait l'avènement d'une époque nouvelle dans l'histoire du progrès des sciences naturelles, grâce à l'activité de la société scientifique la plus fameuse du monde.

Sir Henry Lyons esquissa le plan de son historique pendant un raid aérien sur Londres en 1941, raid au cours duquel sa maison fut détruite. Il put compléter son travail jusqu'à la révision finale des épreuves, mais sa mort en Août 1944, avant la publication du volume, a empêché ses nombreux amis de lui exprimer combien hautement ils appréciaient cet historique détaillé des affaires de la Société, dont il avait été pendant de nombreuses années le serviteur dévoué. R. A. GREGORY

L'ASTRONOMIE POUR LES AMATEURS DE MATHÉMATIQUES

From Atoms to Stars, *par Martin Davidson. Pp.* 188 *avec* 55 *figures. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres.* 1944. 15*s. net.*

Il est indispensable de connaître les vues modernes sur la structure de l'atome et la nature des réactions nucléaires pour comprendre les processus qui donnent naissance à l'énergie émise par les étoiles. Le but du livre étant d'esquisser une introduction à nos connaissances actuelles sur les astres, il commence par un chapitre sur la structure de l'atome, avec une description des isotopes et de la désintégration atomique. L'auteur s'est efforcé continuellement de montrer par quelles méthodes sont obtenus les différents résultats, tels que distances, dimensions, masses, températures, etc. des étoiles et des planètes. Les connaissances mathématiques nécessaires sont très élémentaires et le livre contient beaucoup de chiffres mais peu de formules. Par endroits, moins de chiffres et plus de formules eussent été préférables, car une masse de chiffres peut fort bien obscurcir un principe simple. De nombreux lecteurs seront toutefois intéressés d'apprendre comment les valeurs numériques sont obtenues et ceci devrait combattre l'impression, qui semble répandue, qu'il faut recourir à des procédés mystérieux pour déterminer, par exemple, la masse d'une planète ou la grandeur d'une étoile. Ce livre tient compte des récents développements; ses renseignements sont en général exacts; il peut être vivement recommandé. Il contient une erreur grave, à savoir que les doubles marées de Southampton sont causées par un flux remontant le Solent, et un second flux contournant l'île de Wight et remontant à travers Spithead. Cette affirmation erronée a été si souvent émise et si souvent réfutée qu'il est grandement temps qu'elle disparaisse des manuels. H. SPENCER JONES

FLEURS ANGLAISES

Flowers in Britain, *par L. J. F. Brimble, Pp. x + 393, avec* 18 *planches en couleurs et* 167 *figures dans le texte. Macmillan & Company Limited, Londres.* 1944. 12*s.* 6*d. net.*

Bien que ce livre soit destiné au grand public et ne soit pas un manuel de botanique, tous les botanistes désireront l'avoir dans leur bibliothèque. Mr Brimble connaît et aime les fleurs de Grande-Bretagne; son style est aisé, et il est prodigue d'excellentes photographies pour illustrer son texte. La première section du livre est consacrée à la structure et à la classification des plantes à fleurs; l'auteur a su trouver la juste mesure pour instruire le profane, sans l'ennuyer; c'était une introduction habile et qui permet à l'auteur de donner plus de profondeur aux chapitres suivants. Dans la partie principale du livre, les fleurs sont étudiées en suivant l'ordre des familles, chaque famille étant divisée en deux catégories: plantes indigènes de Grande Bretagne, et plantes qui y sont cultivées soit pour leur beauté, soit pour leur utilité. Pour rendre le livre encore plus complet, les plantes qui ne sont ni indigènes ni cultivées en Grande Bretagne sont cependant mentionnées si elles-mêmes ou leurs produits y sont familiers.

Mr Brimble a choisi dans ce qui semble une mine inépuisable de renseignements les faits les plus intéressants; aussi est-il difficile de refermer le livre une fois commencé. Outre des descriptions botaniques simples, on trouve de nombreux renseignements sur le folklore des fleurs et l'étymologie des noms de plantes, ainsi que de nombreuses citations qui non seulement montrent l'importance des plantes dans la littérature, mais encore rehaussent l'intérêt de la narration. Il faut féliciter et remercier Mr Brimble, et aussi ses éditeurs qui, malgré les difficultés de l'heure présente ont donné à ce livre une présentation digne de lui.